

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2007 年 5 月 18 日 (18.05.2007)

PCT

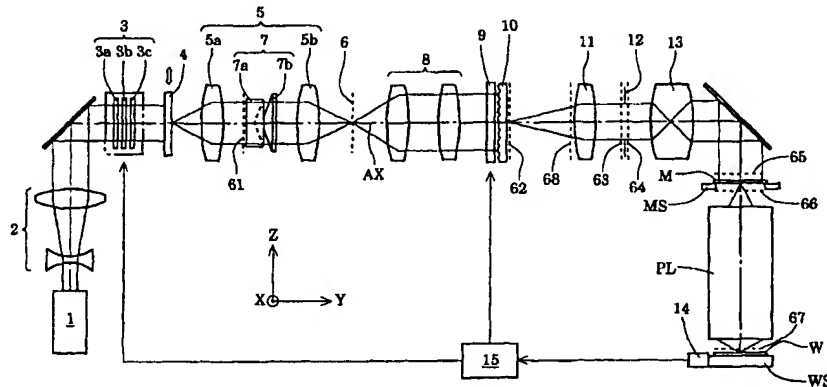
(10) 国際公開番号
WO 2007/055120 A1

- (51) 国際特許分類:
H01L 21/027 (2006.01) G03F 7/20 (2006.01)
G02B 19/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2006/321607
- (22) 国際出願日: 2006 年 10 月 30 日 (30.10.2006)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2005-325787
2005 年 11 月 10 日 (10.11.2005) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社
ニコン (NIKON CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008331
東京都千代田区丸の内三丁目 2 番 3 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 田中 裕久
- (74) 代理人: 山口 孝雄 (YAMAGUCHI, Takao); 〒1010048
東京都千代田区神田司町二丁目 10 番地 第一ビル
Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護
が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG,
BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK,
DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP,
KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD,
MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ,
OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK,
SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US,
UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

/続葉有/

(54) Title: LIGHTING OPTICAL SYSTEM, EXPOSURE SYSTEM, AND EXPOSURE METHOD

(54) 発明の名称: 照明光学装置、露光装置、および露光方法



(57) Abstract: A lighting optical system which illuminates a surface to be illuminated with light in a desired polarizing state by regulating a polarization distribution on an illumination pupil surface or a surface to be illuminated. A lighting optical system which illuminates surfaces to be illuminated (M; W) based on light from a light source (1). A polarization distribution regulating member (14) for regulating a light polarization distribution on an illumination pupil surface is provided. The polarization distribution regulating member is disposed so as to be rotatable around the optical axis (AX) of a lighting optical system, and has an optical rotation member (9) for imparting to an incident light an optical rotation varying according to an incident position. The optical rotation member is formed of an optically rotating optical material, and has its optical-axis-direction thickness changed along a direction perpendicular to the optical axis.

(57) 要約: 照明瞳面または被照射面における偏光分布を調整することにより、所望の偏光状態の光で被照射面を照明する照明光学装置。光源 (1) からの光に基づいて被照射面 (M; W) を照明する照明光学装置。照明瞳面における光の偏光分布を調整するための偏光分布

/続葉有/

WO 2007/055120 A1



(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

添付公開書類:

— 国際調査報告書

調整部材(14)を備えている。偏光分布調整部材は、照明光学装置の光軸(A X)を中心として回転可能に配置されて、入射位置に応じて変化する旋光量を入射光に付与するための旋光部材(9)を有する。旋光部材は、旋光性の光学材料により形成されて、光軸方向の厚さが光軸と直交する所定方向に沿って変化している。

明 細 書

照明光学装置、露光装置、および露光方法

技術分野

- [0001] 本発明は、照明光学装置、露光装置、および露光方法に関し、特に半導体素子、撮像素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド等のデバイスをリソグラフィ工程で製造するための露光装置に好適な照明光学装置に関するものである。

背景技術

- [0002] この種の典型的な露光装置においては、光源から射出された光束が、オプティカルインテグレータとしてのフライアイレンズを介して、多数の光源からなる実質的な面光源としての二次光源を形成する。二次光源（照明瞳またはその近傍に形成される光強度分布）からの光束は、コンデンサーレンズにより集光された後、所定のパターンが形成されたマスクを重畳的に照明する。
- [0003] マスクのパターンを透過した光は、投影光学系を介してウェハ上に結像する。こうして、ウェハ上には、マスクパターンが投影露光（転写）される。なお、マスクに形成されたパターンは高集積化されており、この微細パターンをウェハ上に正確に転写するにはウェハ上において均一な照度分布を得ることが不可欠である。
- [0004] 本出願人は、任意方向の微細パターンを忠実に転写するのに適した照明条件を実現するために、フライアイレンズの後側焦点面に輪帯状の二次光源を形成し、この輪帯状の二次光源を通過する光束がその周方向を偏光方向とする直線偏光状態（以下、略して「周方向偏光状態」という）になるように設定する技術を開示している（たとえば特許文献1）。

- [0005] 特許文献1：国際公開第WO2005/041277号パンフレット

発明の開示

発明が解決しようとする課題

- [0006] 上述の周方向偏光状態に限定されることなく、特定の直線偏光状態の光を用いて特定のパターンの投影露光を行うことは、投影光学系の解像度向上に有効である。さらに一般的には、マスクパターンに応じて特定の偏光状態（以下、非偏光状態を含

む広い概念)の光を用いて投影露光を行うことは、投影光学系の解像度向上に有効である。

[0007] しかしながら、所望の偏光状態の光でマスク(ひいてはウェハ)を照明しようとしても、照明光路中に光の偏光状態を変化させる光学部材が介在すると、所望の偏光状態で結像しなくなり、ひいては投影光学系の結像性能が悪化する可能性がある。特に、レンズの有効領域の中心部を透過する光の偏光状態よりも周辺部を透過する光の偏光状態が変化し易い。

[0008] 本発明は、前述の課題に鑑みてなされたものであり、照明瞳面または被照射面における偏光分布を調整することにより、所望の偏光状態の光で被照射面を照明することのできる照明光学装置を提供することを目的とする。また、所望の偏光状態の光で被照射面を照明することのできる照明光学装置を用いて、微細パターンを感光性基板上に所望の偏光状態で結像させて忠実で且つ良好な露光を行うことのできる露光装置および露光方法を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0009] 前記課題を解決するために、本発明の第1形態では、光源からの光に基づいて被照射面を照明する照明光学装置において、

前記照明光学装置の光軸または該光軸にほぼ平行な軸線を中心として回転可能に配置された第1偏光部材と、

該第1偏光部材と前記被照射面との間の光路中に前記光軸または前記ほぼ平行な軸線を中心として回転可能に配置された第2偏光部材とを備え、

前記第1偏光部材と前記第2偏光部材とは、それぞれ入射位置に応じて異なる偏光状態の変化量を入射光に付与することを特徴とする照明光学装置を提供する。

[0010] 本発明の第2形態では、光源からの光に基づいて被照射面を照明する照明光学装置において、

前記照明光学装置の瞳面の位置、または該瞳面の近傍の位置において、前記照明光学装置の光軸または該光軸にほぼ平行な軸線を中心として回転可能に配置されて、入射位置に応じて変化する位相量を入射光に付与する位相部材を備えていることを特徴とする照明光学装置を提供する。

[0011] 本発明の第3形態では、光源からの光に基づいて被照射面を照明する照明光学装置において、

前記被照射面の近傍の位置、前記被照射面と光学的に共役な位置、または該共役な位置の近傍の位置において、前記照明光学装置の光軸または該光軸にほぼ平行な軸線を中心として回転可能に配置されて、入射位置に応じて変化する位相量を入射光に付与する位相部材を備えていることを特徴とする照明光学装置を提供する。

[0012] 本発明の第4形態では、光源からの光に基づいて被照射面を照明する照明光学装置において、

照明瞳面における光の偏光分布を調整するための偏光分布調整部材を備え、

前記偏光分布調整部材は、前記照明光学装置の光軸または該光軸にほぼ平行な軸線を中心として回転可能に配置されて、入射位置に応じて変化する旋光量を入射光に付与するための旋光部材を有することを特徴とする照明光学装置を提供する。

[0013] 本発明の第5形態では、光源からの光に基づいて被照射面を照明する照明光学装置において、

前記被照射面における光の偏光分布を調整するための偏光分布調整部材を備え、

前記偏光分布調整部材は、前記照明光学装置の光軸または該光軸にほぼ平行な軸線を中心として回転可能に配置されて、入射位置に応じて変化する旋光量を入射光に付与するための旋光部材を有することを特徴とする照明光学装置を提供する。

[0014] 本発明の第6形態では、所定のパターンを感光性基板に露光する露光装置において、

前記所定のパターンまたは前記感光性基板を照明するための第1形態～第5形態の照明光学装置を備えていることを特徴とする露光装置を提供する。

[0015] 本発明の第7形態では、所定のパターンを感光性基板に露光する露光方法において、

第1形態～第5形態の照明光学装置を用いて前記所定のパターンまたは前記感光性基板を照明する照明工程を含むことを特徴とする露光方法を提供する。

- [0016] 本発明の第8形態では、第6形態の露光装置を用いて所定のパターンを感光性基板に露光する露光工程と、
露光された前記感光性基板を現像する現像工程とを含むことを特徴とするデバイス製造方法を提供する。
- [0017] 本発明の第9形態では、光源からの光に基づいて被照射面を照明する照明光学装置の調整方法であって、
前記被照射面を照明する光の偏光状態を測定する偏光状態測定工程と、
前記測定された前記偏光状態に基づいて、前記照明光学装置の光路中に配置される第1偏光部材と、前記第1偏光部材と被照射面との間の光路中に配置される第2偏光部材の少なくとも一方を、前記照明光学装置の光軸または該光軸にほぼ平行な軸線を中心として回転させる偏光部材回転工程とを備えていることを特徴とする調整方法を提供する。
- [0018] 本発明の第10形態では、光源からの光に基づいて被照射面を照明する照明光学装置の製造方法であって、
前記照明光学装置の光軸または該光軸に平行な軸線に沿って回転可能な第1偏光部材および第2偏光部材を準備する工程と、
第9形態の調整方法にしたがって、前記第1偏光部材および前記第2偏光部材のうちの少なくとも一方を回転調整する工程とを備えていることを特徴とする製造方法を提供する。

発明の効果

- [0019] 本発明の典型的な形態にしたがう照明光学装置では、たとえば照明瞳面の位置または被照射面と光学的に共役な位置において光軸を中心として回転可能に配置されて、入射位置に応じて変化する旋光量を入射光に付与する旋光部材を備えている。その結果、この旋光部材の旋光作用により、照明瞳面または被照射面における光の偏光分布を調整することができる。
- [0020] こうして、本発明の照明光学装置では、照明瞳面または被照射面における偏光分布を調整することにより、所望の偏光状態の光で被照射面を照明することができる。したがって、本発明の露光装置および露光方法では、所望の偏光状態の光で被照

射面を照明することのできる照明光学装置を用いて、微細パターンを感光性基板上に所望の偏光状態で結像させて忠実で且つ良好な露光を行うことができ、ひいては良好なデバイスを製造することができる。

図面の簡単な説明

- [0021] [図1]本発明の実施形態にかかる露光装置の構成を概略的に示す図である。
- [図2]本実施形態にかかる偏光分布調整部材の構成を概略的に示す図である。
- [図3]水晶の旋光性について説明する図である。
- [図4]第1旋光光学部材への入射光に付与される旋光量の分布について説明する図である。
- [図5]本実施形態の偏光分布調整部材により照明瞳面にける光の偏光分布が調整される様子を模式的に示す図である。
- [図6]第1変形例にかかる偏光分布調整部材の構成を概略的に示す図である。
- [図7]第1変形例の偏光分布調整部材により照明瞳面にける光の偏光分布が調整される様子を模式的に示す図である。
- [図8]第2変形例にかかる偏光分布調整部材の構成を概略的に示す図である。
- [図9]第3変形例にかかる偏光分布調整部材の構成を概略的に示す図である。
- [図10]第4変形例にかかる偏光分布調整部材の構成を概略的に示す図である。
- [図11]第5変形例にかかる偏光分布調整部材の構成を概略的に示す図である。
- [図12]第6変形例にかかる偏光分布調整部材の構成を概略的に示す図である。
- [図13]第7変形例および第8変形例にかかる偏光分布調整部材の構成を概略的に示す図であり、(a)は第7変形例にかかる偏光分布調整部材の構成を概略的に示す図、(b)は第8変形例にかかる偏光分布調整部材の構成を概略的に示す図である。
- [図14]第9変形例にかかる偏光分布調整部材の旋光量分布を概略的に示す図である。
- [図15]第10変形例にかかる偏光分布調整部材の構成を概略的に示す図である。
- [図16]第11変形例にかかる偏光分布調整部材の構成を概略的に示す図である。
- [図17]第12変形例および第13変形例にかかる偏光分布調整部材の構成を概略的に示す図であり、(a)は第12変形例にかかる偏光分布調整部材の構成を概略的に

示す図、(b)は第13変形例にかかる偏光分布調整部材の構成を概略的に示す図である。

[図18]第14変形例にかかる偏光分布調整部材の構成を概略的に示す図である。

[図19]第15変形例にかかる偏光分布調整部材の構成を概略的に示す図である。

[図20]第16変形例にかかる偏光分布調整部材の構成を概略的に示す図である。

[図21]第17変形例にかかる偏光分布調整部材の構成を概略的に示す図である。

[図22]マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法のフローチャートである。

[図23]マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得る際の手法のフローチャートである。

符号の説明

- [0022] 1 光源
3 偏光状態切換部
4 回折光学素子
5 アフォーカルレンズ
7 円錐アキシコン系
8 ズームレンズ
9, 9A, 9B, 9C 偏光分布調整部材
10 マイクロフライアイレンズ
11 コンデンサー光学系
12 マスクブラインド
13 結像光学系
14 偏光状態測定部
15 制御部
M マスク
PL 投影光学系
W ウェハ

発明を実施するための最良の形態

- [0023] 本発明の実施形態を、添付図面に基づいて説明する。図1は、本発明の実施形態にかかる露光装置の構成を概略的に示す図である。図1において、感光性基板であるウェハWの法線方向に沿ってZ軸を、ウェハWの面内において図1の紙面に平行な方向にY軸を、ウェハWの面内において図1の紙面に垂直な方向にX軸をそれぞれ設定している。
- [0024] 図1を参照すると、本実施形態の露光装置は、露光光(照明光)を供給するための光源1を備えている。光源1として、たとえば193nmの波長の光を供給するArFエキシマレーザ光源や248nmの波長の光を供給するKrFエキシマレーザ光源などを用いることができる。光源1から射出された光は、整形光学系2により所要の断面形状の光束に拡大され、偏光状態切換部3および輪帯照明用の回折光学素子4を介して、アフォーカルレンズ5に入射する。なお、この回折光学素子4は入射光束の断面形状を変更する光束形状変更部材とみなすことができる。
- [0025] 偏光状態切換部3は、光源側から順に、光軸AXを中心として結晶光学軸が回転自在に構成されて入射する楕円偏光の光を直線偏光の光に変換する1/4波長板3aと、光軸AXを中心として結晶光学軸が回転自在に構成されて入射する直線偏光の偏光方向を変化させる1/2波長板3bと、照明光路に対して挿脱自在なデポラライザ(非偏光化素子)3cとを備えている。偏光状態切換部3は、デポラライザ3cを照明光路から退避させた状態で、光源1からの光を所望の偏光方向を有する直線偏光の光に変換して回折光学素子4へ入射させる機能を有し、デポラライザ3cを照明光路中に設定した状態で、光源1からの光を実質的に非偏光の光に変換して回折光学素子4へ入射させる機能を有する。
- [0026] アフォーカルレンズ5は、前側レンズ群5aの前側焦点位置と回折光学素子4の位置とがほぼ一致し且つ後側レンズ群5bの後側焦点位置と図中破線で示す所定面6の位置とがほぼ一致するように設定されたアフォーカル系(無焦点光学系)である。一般に、回折光学素子は、基板に露光光(照明光)の波長程度のピッチを有する段差を形成することによって構成され、入射ビームを所望の角度に回折する作用を有する。
- [0027] 具体的には、輪帯照明用の回折光学素子4は、矩形状の断面を有する平行光束

が入射した場合に、そのファーフールド(またはフラウンホーファー回折領域)に輪帯状の光強度分布を形成する機能を有する。したがって、光束変換素子としての回折光学素子4に入射したほぼ平行光束は、アフォーカルレンズ5の瞳面に輪帯状の光強度分布を形成した後、輪帯状の角度分布でアフォーカルレンズ5から射出される。アフォーカルレンズ5の前側レンズ群5aと後側レンズ群5bとの間の光路中においてその瞳面またはその近傍には、円錐アキシコン系7が配置されている。円錐アキシコン系7の構成および作用については後述する。

[0028] アフォーカルレンズ5を介した光束は、 σ 値(σ 値=照明光学装置のマスク側開口数/投影光学系のマスク側開口数)可変用のズームレンズ8および偏光分布調整部材9を介して、マイクロフライアイレンズ(またはフライアイレンズ)10に入射する。偏光分布調整部材9の構成および作用については後述する。マイクロフライアイレンズ10は、縦横に且つ稠密に配列された多数の正屈折力を有する微小レンズからなる光学素子である。一般に、マイクロフライアイレンズは、たとえば平行平板にエッチング処理を施して微小レンズ群を形成することによって構成される。

[0029] ここで、マイクロフライアイレンズを構成する各微小レンズは、フライアイレンズを構成する各レンズエレメントよりも微小である。また、マイクロフライアイレンズは、互いに隔絶されたレンズエレメントからなるフライアイレンズとは異なり、多数の微小レンズ(微小屈折面)が互いに隔絶されることなく一体的に形成されている。しかしながら、正屈折力を有するレンズ要素が縦横に配置されている点でマイクロフライアイレンズはフライアイレンズと同じ波面分割型のオプティカルインテグレータである。

[0030] 所定面6の位置はズームレンズ8の前側焦点位置の近傍に配置され、マイクロフライアイレンズ10の入射面はズームレンズ8の後側焦点位置の近傍に配置されている。換言すると、ズームレンズ8は、所定面6とマイクロフライアイレンズ10の入射面とを実質的にフーリエ変換の関係に配置し、ひいてはアフォーカルレンズ5の瞳面とマイクロフライアイレンズ10の入射面とを光学的にほぼ共役に配置している。偏光分布調整部材9は、マイクロフライアイレンズ10の直前に配置され、ひいてはアフォーカルレンズ5の瞳面と光学的にほぼ共役に配置されている。

[0031] したがって、マイクロフライアイレンズ10の入射面上には、アフォーカルレンズ5の瞳

面と同様に、たとえば光軸AXを中心とした輪帯状の照野が形成される。この輪帯状の照野の全体形状は、ズームレンズ8の焦点距離に依存して相似的に変化する。マイクロフライアイレンズ10を構成する各微小レンズは、マスクM上において形成すべき照野の形状(ひいてはウェハW上において形成すべき露光領域の形状)と相似な矩形状の断面を有する。

[0032] マイクロフライアイレンズ10に入射した光束は多数の微小レンズにより二次元的に分割され、その後側焦点面またはその近傍(ひいては照明瞳)には、入射光束によって形成される照野とほぼ同じ光強度分布を有する二次光源、すなわち光軸AXを中心とした輪帯状の実質的な面光源からなる二次光源が形成される。マイクロフライアイレンズ10の後側焦点面またはその近傍に形成された二次光源からの光束は、コンデンサー光学系11を介した後、マスクブラインド12を重疊的に照明する。

[0033] こうして、照明視野絞りとしてのマスクブラインド12には、マイクロフライアイレンズ10を構成する各微小レンズの形状と焦点距離とに応じた矩形状の照野が形成される。マスクブラインド12の矩形状の開孔部(光透過部)を介した光束は、結像光学系13の集光作用を受けた後、所定のパターンが形成されたマスクMを重疊的に照明する。すなわち、結像光学系13は、マスクブラインド12の矩形状開孔部の像をマスクM上に形成することになる。

[0034] マスクステージMS上に保持されたマスクMのパターンを透過した光束は、投影光学系PLを介して、ウェハステージWS上に保持されたウェハ(感光性基板)W上にマスクパターンの像を形成する。こうして、投影光学系PLの光軸AXと直交する平面(XY平面)内においてウェハステージWSを二次元的に駆動制御しながら、ひいてはウェハWを二次元的に駆動制御しながら一括露光またはスキャン露光を行うことにより、ウェハWの各露光領域にはマスクMのパターンが順次露光される。

[0035] なお、輪帯照明用の回折光学素子4に代えて、4極照明用の回折光学素子(不図示)を照明光路中に設定することによって、4極照明を行うことができる。4極照明用の回折光学素子は、矩形状の断面を有する平行光束が入射した場合に、そのファーストフィールドに4極状の光強度分布を形成する機能を有する。したがって、4極照明用の回折光学素子を介した光束は、マイクロフライアイレンズ10の入射面に、たとえば

光軸AXを中心とした4つの円形状の照野からなる4極状の照野を形成する。その結果、マイクロフライアイレンズ10の後側焦点面またはその近傍にも、その入射面に形成された照野と同じ4極状の二次光源が形成される。

[0036] また、輪帯照明用の回折光学素子4に代えて、円形照明用の回折光学素子(不図示)を照明光路中に設定することによって、通常の円形照明を行うことができる。円形照明用の回折光学素子は、矩形状の断面を有する平行光束が入射した場合に、ファースフィールドに円形状の光強度分布を形成する機能を有する。したがって、円形照明用の回折光学素子を介した光束は、マイクロフライアイレンズ10の入射面に、たとえば光軸AXを中心とした円形状の照野を形成する。その結果、マイクロフライアイレンズ10の後側焦点面またはその近傍にも、その入射面に形成された照野と同じ円形状の二次光源が形成される。

[0037] さらに、輪帯照明用の回折光学素子4に代えて、他の複数極照明用の回折光学素子(不図示)を照明光路中に設定することによって、様々な複数極照明(2極照明、8極照明など)を行うことができる。同様に、輪帯照明用の回折光学素子4に代えて、適当な特性を有する回折光学素子(不図示)を照明光路中に設定することによって、様々な形態の変形照明を行うことができる。

[0038] 円錐アキシコン系7は、光源側から順に、光源側に平面を向け且つマスク側に凹円錐状の屈折面を向けた第1プリズム部材7aと、マスク側に平面を向け且つ光源側に凸円錐状の屈折面を向けた第2プリズム部材7bとから構成されている。そして、第1プリズム部材7aの凹円錐状の屈折面と第2プリズム部材7bの凸円錐状の屈折面とは、互いに当接可能なように相補的に形成されている。また、第1プリズム部材7aおよび第2プリズム部材7bのうち少なくとも一方の部材が光軸AXに沿って移動可能に構成され、第1プリズム部材7aの凹円錐状の屈折面と第2プリズム部材7bの凸円錐状の屈折面との間隔が可変に構成されている。以下、輪帯状または4極状の二次光源に着目して、円錐アキシコン系7の作用およびズームレンズ8の作用を説明する。

[0039] ここで、第1プリズム部材7aの凹円錐状屈折面と第2プリズム部材7bの凸円錐状屈折面とが互いに当接している状態では、円錐アキシコン系7は平行平板として機能し、形成される輪帯状または4極状の二次光源に及ぼす影響はない。しかしながら、

第1プリズム部材7aの凹円錐状屈折面と第2プリズム部材7bの凸円錐状屈折面とを離間させると、輪帯状または4極状の二次光源の幅(輪帯状の二次光源の外径と内径との差の $1/2$; 4極状の二次光源に外接する円の直径(外径)と内接する円の直径(内径)との差の $1/2$)を一定に保ちつつ、輪帯状または4極状の二次光源の外径(内径)が変化する。すなわち、輪帯状または4極状の二次光源の輪帯比(内径/外径)および大きさ(外径)が変化する。

[0040] ズームレンズ8は、輪帯状または4極状の二次光源の全体形状を相似的に拡大または縮小する機能を有する。たとえば、ズームレンズ8の焦点距離を最小値から所定の値へ拡大させることにより、輪帯状または4極状の二次光源の全体形状が相似的に拡大される。換言すると、ズームレンズ8の作用により、輪帯状または4極状の二次光源の輪帯比が変化することなく、その幅および大きさ(外径)がともに変化する。このように、円錐アキシコン系7およびズームレンズ8の作用により、輪帯状または4極状の二次光源の輪帯比と大きさ(外径)とを制御することができる。

[0041] 本実施形態の露光装置には、ウェハWを保持するためのウェハステージWSに、ウェハWに入射する照明光(露光光)の偏光状態を測定するための偏光状態測定部14が設けられている。偏光状態測定部14の測定結果は、制御部15に供給される。偏光状態測定部14の詳細な構成および作用については、たとえば特開2005-5521号公報に開示されている。偏光状態測定部14を用いてウェハWに入射する照明光の瞳内における偏光状態を測定し、照明光が瞳内において適切な偏光状態になっているか否かが判定される。

[0042] 制御部15は、偏光状態測定部14の測定結果に基づいて、必要に応じて偏光状態切換部3を駆動し、さらに後述するように偏光分布調整部材9を駆動して、マスクM(ひいてはウェハW)への照明光の偏光状態を所望の偏光状態に調整する。なお、図1では、偏光状態測定部14がウェハステージWSに取り付け可能な構成を示したが、この偏光状態測定部14をウェハステージWSに組み込んでもよく、またウェハステージWSとは別のステージに組み込んでもよい。なお、偏光状態測定部14としては、米国特許公開第2006/0170901号公報に開示されている偏光状態測定器を用いることができる。ここでは、米国特許公開第2006/0170901号公報を参照として援用

する。

- [0043] 図2は、本実施形態にかかる偏光分布調整部材の構成を概略的に示す図である。本実施形態の偏光分布調整部材9は、光源側から順に、第1旋光光学部材21と、第1補正光学部材22と、第2旋光光学部材23と、第2補正光学部材24とにより構成されている。第1旋光光学部材21および第2旋光光学部材23は、たとえば水晶のような旋光性の光学材料により形成されて、光軸方向の厚さが光軸AXと直交する所定方向に沿って線形的に変化するようなくさび状の断面形状を有する。
- [0044] 一方、第1補正光学部材22および第2補正光学部材24は、たとえば石英のような非晶質光学材料(または蛍石などの結晶光学材料)により形成されて、第1旋光光学部材21および第2旋光光学部材23と同様にくさび状の断面形状を有する。具体的に、図2に示す標準状態において、第1旋光光学部材21は、光源側から順に、光軸AXに垂直な平面(第1面)21aと、X方向に沿って傾斜した傾斜面(第2面)21bとを有する。第1補正光学部材22は、第1旋光光学部材21の傾斜面21bと相補的で且つ傾斜面21bに近接した傾斜面(第3面)22aと、光軸AXに垂直な平面(第4面)22bとを有する。
- [0045] 同様に、図2に示す標準状態において、第2旋光光学部材23は、光源側から順に、光軸AXに垂直な平面(第5面)23aと、X方向に沿って傾斜した傾斜面(第6面)23bとを有する。第2補正光学部材24は、第2旋光光学部材23の傾斜面23bと相補的で且つ傾斜面23bに近接した傾斜面(第7面)24aと、光軸AXに垂直な平面(第8面)24bとを有する。このように、第1補正光学部材22は第1旋光光学部材21の偏角作用による光線の曲がりを補正する機能を有し、第2補正光学部材24は第2旋光光学部材23の偏角作用による光線の曲がりを補正する機能を有する。
- [0046] また、第1旋光光学部材21と第1補正光学部材22とは一体的に保持され、光軸AXを中心として回転可能に構成されている。同様に、第2旋光光学部材23と第2補正光学部材24とは一体的に保持され、光軸AXを中心として回転可能に構成されている。制御部15は、第1旋光光学部材21と第1補正光学部材22との一体的な回転、および第2旋光光学部材23と第2補正光学部材24との一体的な回転をそれぞれ制御する。

- [0047] 上述したように、第1旋光光学部材21および第2旋光光学部材23は、旋光性を有する水晶により形成され、光軸方向の厚さが光軸AXと直交する所定方向(図2の標準状態ではX方向)に沿って線形的に変化しているので、入射位置に応じて変化する旋光量を入射光に付与する機能を有する。図3を参照して、水晶の旋光性について簡単に説明する。図3を参照すると、厚さdの水晶からなる平行平板状の光学部材100が、その結晶光学軸と光軸AXとが一致するように配置されている。
- [0048] この場合、光学部材100の旋光性により、入射した直線偏光の偏光方向が光軸AX廻りに θ だけ回転した状態で射出される。このとき、光学部材100の旋光性による偏光方向の回転角(旋光角度;旋光量) θ は、光学部材100の厚さdと水晶の旋光能 ρ とにより、次の式(a)で表わされる。
- $$\theta = d \times \rho \quad (a)$$
- [0049] 一般に、水晶の旋光能 ρ は、波長依存性(使用光の波長に依存して旋光能の値が異なる性質:旋光分散)があり、具体的には使用光の波長が短くなると大きくなる傾向がある。「応用光学II」の第167頁の記述によれば、250.3nmの波長を有する光に対する水晶の旋光能 ρ は、153.9度/mmである。以下、説明を単純化するために、第1旋光光学部材21と第2旋光光学部材23とは同じ構成を有し、第1補正光学部材22と第2補正光学部材24とは同じ構成を有するものとする。また、図2に示す標準状態において、第1旋光光学部材21と第2旋光光学部材23とは同じ姿勢で位置決めされているものとする。
- [0050] 図4を参照して、第1旋光光学部材への入射光に付与される旋光量の分布について説明する。図4では、第1旋光光学部材21が図2に示す標準状態にあり、傾斜面21bはX方向に沿って傾斜している。したがって、第1旋光光学部材21の入射面である平面21a上の局所座標x(光軸AX上に原点を有し全体座標Xに対応)の方向に沿った各点に入射した直線偏光に付与される旋光量(旋光度)分布 $S(x)$ は、偏角プリズムとしての第1旋光光学部材21のくさび角を α とし、入射直線偏光の偏光方向を一回転させるのに必要な水晶(第1旋光光学部材21を形成する光学材料)の厚さをtとすると、次の式(1)により表わされる。

$$S(x) = (x/t) \times \tan \alpha \quad (1)$$

[0051] 一方、図2に示す標準状態から第1旋光光学部材21を光軸AX廻りに角度 $+\beta$ だけ回転させたとき、平面21a上の座標xに沿った各点に入射した直線偏光に付与される旋光量分布 $S(x)$ は、次の式(2)により表わされる。式(1)および(2)を参照すると、旋光量分布 $S(x)$ は、光軸AX($x=0$)において0であり、光軸AXを挟んで逆対称的にx方向に沿って線形的に変化する。

$$S(x) = (x/t) \times \tan \alpha \times \cos \beta \quad (2)$$

[0052] したがって、図2に示す標準状態において、偏光分布調整部材9によるy方向(不図示;図4の紙面に垂直は方向であって全体座標のY方向に対応)に沿った旋光量分布 $S(y)$ は一定であり、偏光分布調整部材9によるx方向に沿った旋光量分布 $S(x)$ だけが最大の変化率にしかたがって変化する。これは、第1旋光光学部材21による式(1)のx方向に沿った旋光量分布 $S(x)$ と第2旋光光学部材23による式(1)のx方向に沿った旋光量分布 $S(x)$ とが相和的に合成されるからである。

[0053] 一方、図2に示す標準状態から第1旋光光学部材21を光軸AX廻りに角度 $+\beta$ だけ回転させ且つ第2旋光光学部材23を光軸AX廻りに角度 $-\beta$ だけ回転させると、偏光分布調整部材9によるy方向に沿った旋光量分布 $S(y)$ は一定に維持されつつ、偏光分布調整部材9によるx方向に沿った旋光量分布 $S(x)$ だけが第1旋光光学部材21の回転角度 $+\beta$ (ひいては第2旋光光学部材23の回転角度 $-\beta$)に応じて変化する。

[0054] これは、第1旋光光学部材21によるy方向に沿った旋光量分布 $S(y)$ と第2旋光光学部材23によるy方向に沿った旋光量分布 $S(y)$ とは相殺され、第1旋光光学部材21による式(2)のx方向に沿った旋光量分布 $S(x)$ と第2旋光光学部材23による式(2)のx方向に沿った旋光量分布 $S(x)$ とは相和的に合成されるからである。その結果、図2に示す標準状態と同様に、旋光量の面内分布 $S(x, y)$ は、y方向に沿って一定であり、x方向に沿って線形的に変化する。

[0055] このとき、式(2)を参照して明らかなように、第1旋光光学部材21および第2旋光光学部材23の回転角度の大きさ $|\beta|$ が0度から増大するにしたがって、偏光分布調整部材9による旋光量分布 $S(x)$ の変化率は単調に減少する。ただし、第1旋光光学部材21および第2旋光光学部材23の回転角度の大きさ $|\beta|$ が90度に達すると、

第1旋光光学部材21の光軸方向の厚さと第2旋光光学部材23の光軸方向の厚さとの和がx方向に沿って一定になり、任意の直線偏光状態の入射光は、偏光分布調整部材9による旋光作用を受けることなく、偏光方向を維持したまま通過する。

[0056] 本実施形態では、たとえば円形照明時に偏光状態測定部14を用いて光の偏光状態を測定した結果、図5(a)に示すように、照明瞳面(光源1から投影光学系PLまでを照明光学装置と見なしたときの投影光学系PLの瞳面)の大部分の領域において所望のX方向直線偏光状態になっているが、X方向に沿って中心(光軸AX)から両側の周辺にかけて所望のX方向直線偏光状態から逆向きに外れた直線偏光状態になっていることがある。この場合、制御部15は、偏光状態測定部14の測定結果に基づいて、偏光分布調整部材9を駆動し、ウェハWへの照明光の偏光状態を所望の偏光状態に調整する。

[0057] 具体的には、制御部15は、偏光状態測定部14の測定結果に基づいて、偏光分布調整部材9を構成する第1旋光光学部材21を光軸AX廻りに所要角度 $+\beta$ だけ回転させ且つ第2旋光光学部材23を光軸AX廻りに所要角度 $-\beta$ だけ回転させる。その結果、偏光分布調整部材9のX方向に沿った線形変化の旋光作用により、図5(b)に示すように、照明瞳面のY方向に沿って中心から周辺に及ぶ領域における直線偏光状態に変化を実質的に及ぼすことなく、X方向に沿って中心から周辺に及ぶ領域における直線偏光状態を所望のX方向直線偏光状態に補正(調整)することができる。

[0058] 以上のように、本実施形態の照明光学装置(1~PL;1~13)では、偏光分布調整部材9の旋光作用により、照明瞳面における偏光分布を調整することにより、所望の偏光状態の光でウェハWを照明することができる。また、本実施形態の露光装置では、所望の偏光状態の光でウェハWを照明することのできる照明光学装置を用いているので、マスクMの微細パターンをウェハW上に所望の偏光状態で結像させて、忠実に且つ良好な露光を行うことができる。なお、上述の実施形態において、第1旋光光学部材21はたとえば第1偏光部材とみなすことができ、第2旋光光学部材23はたとえば第2偏光部材とみなすことができる。

[0059] なお、上述の実施形態にかかる偏光分布調整部材9では、光軸方向の厚さが光軸

AXと直交する所定方向に沿って線形的に変化するようなくさび状の断面形状を有する旋光光学部材(21, 23)を用いている。しかしながら、くさび状の断面形状に限定されることなく、光軸方向の厚さが光軸AXと直交する所定方向に沿って変化する他の適当な断面形状を有する旋光光学部材を用いて、偏光分布調整部材について様々な変形例が可能である。以下、偏光分布調整部材の典型的な変形例について説明する。

- [0060] 図6は、第1変形例にかかる偏光分布調整部材の構成を概略的に示す図である。第1変形例の偏光分布調整部材9Aにおいて、第1旋光光学部材31は、たとえば水晶により形成され、光源側に平面31aを向け且つマスク側に凹状で且つV字状の屈折面31bを向けている。図6(a)に示す標準状態において、第1旋光光学部材31の凹状屈折面31bは、第1旋光光学部材31の光軸方向の厚さがX方向に沿ってのみ変化するように、光軸AXを通るY軸に関して対称な2つの傾斜面から構成されている。第1補正光学部材32は、たとえば石英(または蛍石など)により形成され、光源側に凸状で且つV字状の屈折面(凹状屈折面31bと相補的に形成された面)32aを向け、且つマスク側に平面32bを向けている。
- [0061] 第2旋光光学部材33は、第1旋光光学部材31と同様に、たとえば水晶により形成され、光源側に平面33aを向け且つマスク側に凹状で且つV字状の屈折面33bを向けている。第2補正光学部材34は、第1補正光学部材32と同様に、たとえば石英(または蛍石など)により形成され、光源側に凸状で且つV字状の屈折面(V字状の屈折面33bと相補的な面)34aを向け、且つマスク側に平面34bを向けている。第1旋光光学部材31と第1補正光学部材32とは光軸AXを中心として一体的に回転可能に構成され、第2旋光光学部材33と第2補正光学部材34とは光軸AXを中心として一体的に回転可能に構成されている。
- [0062] 以下、説明を単純化するために、第1旋光光学部材31と第2旋光光学部材33とは同じ構成を有し、第1補正光学部材32と第2補正光学部材34とは同じ構成を有し、図6(a)に示す標準状態において第1旋光光学部材31と第2旋光光学部材33とは同じ姿勢で位置決めされているものとする。図6(b)を参照すると、第1旋光光学部材31が図6(a)に示す標準状態にあり、V字状の屈折面31bは光軸AXを中心としてX

方向に沿って傾斜する2つの傾斜面により形成されている。

- [0063] したがって、第1旋光光学部材31の入射面である平面31a上のx方向に沿った各点に入射した直線偏光に付与される旋光量分布 $S(x)$ は、第1旋光光学部材31のV字状の屈折面31bを形成する2つの傾斜面の傾斜角を α とし、入射直線偏光の偏光方向を一回転させるのに必要な水晶の厚さを t とすると、次の式(3)により表わされる。

$$S(x) = (|x|/t) \times \tan \alpha \quad (3)$$

- [0064] 一方、図6(a)に示す標準状態から第1旋光光学部材31を光軸AX廻りに角度 $+\beta$ だけ回転させたとき、平面31a上の座標xに沿った各点に入射した直線偏光に付与される旋光量分布 $S(x)$ は、次の式(4)により表わされる。式(3)および(4)を参照すると、旋光量分布 $S(x)$ は、光軸AX($x=0$)において0であり、光軸AXを挟んで対称的に $+x$ 方向および $-x$ 方向に沿って線形的に変化する。

$$S(x) = (|x|/t) \times \tan \alpha \times \cos \beta \quad (4)$$

- [0065] したがって、第1変形例においても、図6(a)に示す標準状態から第1旋光光学部材31を光軸AX廻りに角度 $+\beta$ だけ回転させ且つ第2旋光光学部材33を光軸AX廻りに角度 $-\beta$ だけ回転させると、偏光分布調整部材9Aによるy方向に沿った旋光量分布 $S(y)$ は一定に維持されつつ、偏光分布調整部材9Aによるx方向に沿った旋光量分布 $S(x)$ だけが第1旋光光学部材31の回転角度 $+\beta$ （ひいては第2旋光光学部材33の回転角度 $-\beta$ ）に応じて変化する。

- [0066] このとき、式(4)を参照して明らかなように、第1旋光光学部材31および第2旋光光学部材33の回転角度の大きさ $|\beta|$ が0度から増大するにしたがって、偏光分布調整部材9Aによる旋光量分布 $S(x)$ の変化率は単調に減少する。ただし、第1旋光光学部材31および第2旋光光学部材33の回転角度の大きさ $|\beta|$ が90度に達すると、第1旋光光学部材31の光軸方向の厚さと第2旋光光学部材33の光軸方向の厚さとの和がx方向に沿って一定になり、任意の直線偏光状態の入射光は、偏光分布調整部材9Aによる旋光作用を受けることなく、偏光方向を維持したまま通過する。

- [0067] 第1変形例では、たとえば円形照明時に偏光状態測定部14を用いて光の偏光状態を測定した結果、図7(a)に示すように、照明瞳面の大部分の領域において所望

のX方向直線偏光状態になっているが、X方向に沿って中心(光軸AX)から両側の周辺にかけて所望のX方向直線偏光状態から同じ向きに外れた直線偏光状態になっていることがある。この場合、制御部15は、偏光状態測定部14の測定結果に基づいて、偏光分布調整部材9Aを駆動し、ウェハWへの照明光の偏光状態を所望の偏光状態に調整する。

[0068] 具体的には、制御部15は、偏光状態測定部14の測定結果に基づいて、偏光分布調整部材9Aを構成する第1旋光光学部材31を光軸AX廻りに所要角度 $+\beta$ だけ回転させ且つ第2旋光光学部材33を光軸AX廻りに所要角度 $-\beta$ だけ回転させる。その結果、偏光分布調整部材9AのX方向に沿った線形変化の旋光作用により、図7(b)に示すように、照明瞳面のY方向に沿って中心から周辺に及ぶ領域における直線偏光状態に変化を実質的に及ぼすことなく、X方向に沿って中心から周辺に及ぶ領域における直線偏光状態を所望のX方向直線偏光状態に補正(調整)することができる。なお、上述の第1変形例において、第1旋光光学部材31はたとえば第1偏光部材とみなすことができ、第2旋光光学部材33はたとえば第2偏光部材とみなすことができる。

[0069] 図8は、第2変形例にかかる偏光分布調整部材の構成を概略的に示す図である。第2変形例の偏光分布調整部材9Bにおいて、第1旋光光学部材41は、たとえば水晶により形成され、光源側に平面41aを向け且つマスク側に凹状で且つ円筒面形状の屈折面41bを向けている。図8(a)に示す標準状態において、第1旋光光学部材41の凹状屈折面41bは、第1旋光光学部材41の光軸方向の厚さがX方向に沿ってのみ変化するように、光軸AXを通るY軸に関して対称な円筒面(厳密には放物面)として形成されている。第1補正光学部材42は、たとえば石英(または蛍石など)により形成され、光源側に凸状で且つ円筒面形状の屈折面(凹状屈折面41bと相補的に形成された面)42aを向け、且つマスク側に平面42bを向けている。

[0070] 第2旋光光学部材43は、第1旋光光学部材41と同様に、たとえば水晶により形成され、光源側に平面43aを向け且つマスク側に凹状で且つ円筒面形状の屈折面43bを向けている。第2補正光学部材44は、第1補正光学部材42と同様に、たとえば石英(または蛍石など)により形成され、光源側に凸状で且つ円筒面形状の屈折面(凹

状屈折面43bと相補的な面)44aを向け、且つマスク側に平面44bを向けている。第1旋光光学部材41と第1補正光学部材42とは光軸AXを中心として一体的に回転可能に構成され、第2旋光光学部材43と第2補正光学部材44とは光軸AXを中心として一体的に回転可能に構成されている。

[0071] 以下、説明を単純化するために、第1旋光光学部材41と第2旋光光学部材43とは同じ構成を有し、第1補正光学部材42と第2補正光学部材44とは同じ構成を有し、図8(a)に示す標準状態において第1旋光光学部材41と第2旋光光学部材43とは同じ姿勢で位置決めされているものとする。図8(b)を参照すると、第1旋光光学部材41が図8(a)に示す標準状態にあり、凹状屈折面41bは光軸AXを通るY軸に関して対称な円筒面により形成されている。

[0072] したがって、第1旋光光学部材41の入射面である平面41a上のx方向に沿った各点に入射した直線偏光に付与される旋光量分布 $S(x)$ は、第1旋光光学部材41の凹状屈折面41bの円筒面形状を規定する係数を a とし、入射直線偏光の偏光方向を一回転させるのに必要な水晶の厚さを t とすると、次の式(5)により表わされる。

$$S(x) = ax^2/t \quad (5)$$

[0073] 一方、図8(a)に示す標準状態から第1旋光光学部材41を光軸AX廻りに角度 $+\beta$ だけ回転させたとき、平面41a上の座標 x に沿った各点に入射した直線偏光に付与される旋光量分布 $S(x)$ は、次の式(6)により表わされる。式(5)および(6)を参照すると、旋光量分布 $S(x)$ は、光軸AX($x=0$)において0であり、光軸AXを挟んで対称的に $+x$ 方向および $-x$ 方向に沿って二次変化する。

$$S(x) = (ax^2/t) \times \cos \beta \quad (6)$$

[0074] したがって、第2変形例においても、図8(a)に示す標準状態から第1旋光光学部材41を光軸AX廻りに角度 $+\beta$ だけ回転させ且つ第2旋光光学部材43を光軸AX廻りに角度 $-\beta$ だけ回転させると、偏光分布調整部材9Bによるy方向に沿った旋光量分布 $S(y)$ は一定に維持されつつ、偏光分布調整部材9Bによるx方向に沿った旋光量分布 $S(x)$ だけが第1旋光光学部材41の回転角度 $+\beta$ （ひいては第2旋光光学部材43の回転角度 $-\beta$ ）に応じて変化する。

[0075] このとき、式(6)を参照して明らかなように、第1旋光光学部材41および第2旋光光

学部材43の回転角度の大きさ $|\beta|$ が0度から増大するにしたがって、偏光分布調整部材9Bによる旋光量分布 $S(x)$ の変化率は単調に減少する。ただし、第1旋光光学部材41および第2旋光光学部材43の回転角度の大きさ $|\beta|$ が90度に達すると、第1旋光光学部材41の光軸方向の厚さと第2旋光光学部材43の光軸方向の厚さとの和が x 方向に沿って一定になり、任意の直線偏光状態の入射光は、偏光分布調整部材9Bによる旋光作用を受けることなく、偏光方向を維持したまま通過する。

[0076] こうして、第2変形例においても、制御部15は、偏光状態測定部14の測定結果に基づいて、偏光分布調整部材9Bを構成する第1旋光光学部材41を光軸AX廻りに所要角度 $+\beta$ だけ回転させ且つ第2旋光光学部材43を光軸AX廻りに所要角度 $-\beta$ だけ回転させる。その結果、偏光分布調整部材9BのX方向に沿った二次変化の旋光作用により、照明瞳面のY方向に沿って中心から周辺に及ぶ領域における直線偏光状態に変化を実質的に及ぼすことなく、X方向に沿って中心から周辺に及ぶ領域における直線偏光状態を所望のX方向直線偏光状態に補正(調整)することができる。なお、上述の第2変形例において、第1旋光光学部材41はたとえば第1偏光部材とみなすことができ、第2旋光光学部材43はたとえば第2偏光部材とみなすことができる。

[0077] 図9は、第3変形例にかかる偏光分布調整部材の構成を概略的に示す図である。第3変形例の偏光分布調整部材9Cにおいて、第1旋光光学部材51は、たとえば水晶により形成され、光源側に平面51aを向け且つマスク側に高次非円筒面形状の屈折面51bを向けている。図9(a)に示す標準状態において、第1旋光光学部材51の屈折面51bは、第1旋光光学部材51の光軸方向の厚さがX方向に沿ってのみ変化するような高次非円筒面として形成されている。第1補正光学部材52は、たとえば石英(または蛍石など)により形成され、光源側に高次非円筒面形状の屈折面(屈折面51bと相補的に形成された面)52aを向け、且つマスク側に平面52bを向けている。

[0078] 第2旋光光学部材53は、第1旋光光学部材51と同様に、たとえば水晶により形成され、光源側に平面53aを向け且つマスク側に高次非円筒面形状の屈折面53bを向けている。第2補正光学部材54は、第1補正光学部材52と同様に、たとえば石英(または蛍石など)により形成され、光源側に高次非円筒面形状の屈折面(屈折面53bと

相補的な面) 54aを向け、且つマスク側に平面54bを向けている。第1旋光光学部材51と第1補正光学部材52とは光軸AXを中心として一体的に回転可能に構成され、第2旋光光学部材53と第2補正光学部材54とは光軸AXを中心として一体的に回転可能に構成されている。

[0079] 以下、説明を単純化するために、第1旋光光学部材51と第2旋光光学部材53とは同じ構成を有し、第1補正光学部材52と第2補正光学部材54とは同じ構成を有し、図9(a)に示す標準状態において第1旋光光学部材51と第2旋光光学部材53とは同じ姿勢で位置決めされているものとする。図9(b)を参照すると、第1旋光光学部材51が図9(a)に示す標準状態にあり、屈折面51bはX方向に沿った一次曲面としての高次非円筒面により形成されている。

[0080] したがって、第1旋光光学部材51の入射面である平面51a上のx方向に沿った各点に入射した直線偏光に付与される旋光量分布 $S(x)$ は、第1旋光光学部材51の屈折面51bの高次非円筒面形状を規定する係数を $a_0 \sim a_n$ とし、入射直線偏光の偏光方向を一回転させるのに必要な水晶の厚さを t とすると、次の式(7)により表わされる。

$$S(x) = (a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \dots + a_1 x + a_0) / t \quad (7)$$

[0081] 一方、図9(a)に示す標準状態から第1旋光光学部材51を光軸AX廻りに角度 $+\beta$ だけ回転させたとき、平面51a上の座標xに沿った各点に入射した直線偏光に付与される旋光量分布 $S(x)$ は、次の式(8)により表わされる。式(7)および(8)を参照すると、旋光量分布 $S(x)$ は、光軸AX($x=0$)において0であり、x方向に沿って高次変化する。

$$S(x) = \{(a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \dots + a_1 x + a_0) / t\} \times \cos \beta \quad (8)$$

[0082] したがって、第3変形例においても、図9(a)に示す標準状態から第1旋光光学部材51を光軸AX廻りに角度 $+\beta$ だけ回転させ且つ第2旋光光学部材53を光軸AX廻りに角度 $-\beta$ だけ回転させると、偏光分布調整部材9Cによるy方向に沿った旋光量分布 $S(y)$ は一定に維持されつつ、偏光分布調整部材9Cによるx方向に沿った旋光量分布 $S(x)$ だけが第1旋光光学部材51の回転角度 $+\beta$ （ひいては第2旋光光学部材43の回転角度 $-\beta$ ）に応じて変化する。

- [0083] このとき、式(8)を参照して明らかなように、第1旋光光学部材51および第2旋光光学部材53の回転角度の大きさ $|\beta|$ が0度から増大するにしたがって、偏光分布調整部材9Cによる旋光量分布 $S(x)$ の変化率は単調に減少する。ただし、第1旋光光学部材51および第2旋光光学部材53の回転角度の大きさ $|\beta|$ が90度に達すると、第1旋光光学部材51の光軸方向の厚さと第2旋光光学部材53の光軸方向の厚さとの和が x 方向に沿って一定になり、任意の直線偏光状態の入射光は、偏光分布調整部材9Cによる旋光作用を受けることなく、偏光方向を維持したまま通過する。
- [0084] こうして、第3変形例においても、制御部15は、偏光状態測定部14の測定結果に基づいて、偏光分布調整部材9Cを構成する第1旋光光学部材51を光軸AX廻りに所要角度 $+\beta$ だけ回転させ且つ第2旋光光学部材53を光軸AX廻りに所要角度 $-\beta$ だけ回転させる。その結果、偏光分布調整部材9CのX方向に沿った高次変化の旋光作用により、照明瞳面のY方向に沿って中心から周辺に及ぶ領域における直線偏光状態に変化を実質的に及ぼすことなく、X方向に沿って中心から周辺に及ぶ領域における直線偏光状態を所望のX方向直線偏光状態に補正(調整)することができる。なお、上述の第3変形例において、第1旋光光学部材51はたとえば第1偏光部材とみなすことができ、第2旋光光学部材53はたとえば第2偏光部材とみなすことができる。
- [0085] なお、上述の説明では、偏光分布調整部材が旋光光学部材と補正光学部材との組を2組備えているが、旋光光学部材と補正光学部材との組を1組だけ備えた偏光分布調整部材を用いて、照明瞳面における偏光分布を二次元的に調整することもできる。また、上述の説明では、第1組の旋光光学部材および補正光学部材と、第2組の旋光光学部材および補正光学部材とが同じ構成を有するが、第1組と第2組とで異なる構成も可能である。
- [0086] また、上述の説明では、第1組の旋光光学部材および補正光学部材と第2組の旋光光学部材および補正光学部材とを逆向きに同じ角度だけ回転させているが、第1組と第2組とをそれぞれ回転させて、照明瞳面における偏光分布を二次元的に調整することもできる。なお、旋光光学部材と補正光学部材との間隔が比較的大きいと、この間隔に起因して面内の光線分布密度が変化して光量ムラ(照度ムラ)が発生し易く

なるので、旋光光学部材と補正光学部材との間隔をできるだけ小さく設定することが好ましい。

[0087] また、上述の説明では、軸上光線の光の偏光状態が変化しない旋光量分布が得られるように旋光光学部材の面形状を設定しているが、これは照明瞳面の中心領域（光軸領域）よりも周辺領域において偏光状態が所望の状態から外れ易いからである。しかしながら、これに限定されることなく、旋光光学部材の面形状（ひいては旋光量分布）については様々な変形例が可能である。

[0088] また、上述の説明では、補正光学部材を用いて旋光光学部材の偏角作用による光線の曲がりを補正しているが、偏光分布調整部材中への補正光学部材の配置を省略することもできる。また、上述の説明では、旋光光学部材を水晶により形成しているが、水晶に限定されることなく、旋光性を有する他の適当な光学材料を用いて旋光光学部材を形成することもできる。また、構造複屈折によって入射光に旋光作用を与えても良い。

[0089] ところで、上述の第1変形例では、旋光光学部材および補正光学部材のV字状の屈折面の稜線部分（山頂部分または谷底部分）を高精度に加工することが困難な場合がある。この場合、稜線部分の加工誤差に起因して光量ムラが発生し易いので、たとえば照明瞳面と光学的に共役な面から稜線部分をある程度デフォーカスさせて、加工誤差の影響を低減することが好ましい。

[0090] また、上述の第3変形例では、旋光光学部材および補正光学部材の高次非円筒面形状の屈折面を、微分可能な連続関数により規定することが望ましい。この構成を満足しない場合、部品加工時の公差に応じて発生する加工誤差の影響により、たとえば非連続的な光量ムラが発生し易くなる。

[0091] また、上述の説明では、旋光光学部材を光軸廻りに回転させているが、旋光光学部材を光軸と直交する方向（一般には光軸と交差する方向）に移動させて、照明瞳面における偏光分布を調整することもできる。この場合、上述の実施形態および第1変形例では光軸領域も含めて照明瞳面の全体に亘って偏光分布のオフセット成分（0次成分）を調整することができ、第2変形例では偏光分布の傾斜成分（一次成分）を調整することができ、第3変形例では偏光分布の $(n-1)$ 次成分を調整することがで

きる。なお、旋光光学部材を光軸と直交する方向に移動させた状態で、光軸と平行な軸線廻りに旋光光学部材を回転させて、さらに多様な形態にしたがって偏光分布を調整することもできる。

[0092] 図10は、第4変形例にかかる偏光分布調整部材の構成を概略的に示す図である。図10に示す第4変形例の偏光分布調整部材9Dは、図6に示した第1変形例にかかる偏光分布調整部材9Aと類似した構成を有するため、図10では図6に示した部材と同様の機能を有する部材には同じ符号を付してある。図10の第4変形例において、図6に示した第1変形例と異なる構成は、第2旋光光学部材35と第2補正光学部材36である。

[0093] 図10に示す偏光分布調整部材9Dにおいて、第2旋光光学部材35は、たとえば水晶により形成され、光源側に凸状で且つV字状の屈折面35aを向け且つマスク側に平面35bを向けている。図10に示す標準状態において、第2旋光光学部材35の凸状屈折面35aは、第2旋光光学部材35の光軸方向の厚さがX方向に沿ってのみ変化するように、光軸AXを通るY軸に関して対称な2つの傾斜面から構成されている。第2補正光学部材36は、たとえば石英(または蛍石など)により形成され、光源側に平面36aを向け、且つマスク側に凹状で且つV字状の屈折面(凸状屈折面35aと相補的に形成された面)36bを向けている。

[0094] そして、第2旋光光学部材35と第2補正光学部材36とは光軸AXを中心として一体的に回転可能に構成されている。この第4変形例にかかる偏光分布調整部材9Dでは、図10に示す標準状態において、第1旋光光学部材31の光軸方向の厚さと第2旋光光学部材35の光軸方向の厚さとの和がx方向およびy方向に沿って一定となり、且つこの厚さの和が偏光方向の回転角 $\theta = 180 \times n$ (nは整数)となるように設定されているため、任意の直線偏光状態の入射光は、偏光分布調整部材9Dによる旋光作用を受けることなく、偏光方向を維持したまま通過する。

[0095] そして、第1旋光光学部材31と第2旋光光学部材35との相対的な回転角を上述の実施形態並びに変形例と同様に変更することによって、ウェハWへの照明光の偏光状態を所望の偏光状態に調整することができる。なお、上述の第4変形例において、第1旋光光学部材31はたとえば第1偏光部材とみなすことができ、第2旋光光学部

材35はたとえば第2偏光部材とみなすことができる。

[0096] 図11は、第5変形例にかかる偏光分布調整部材の構成を概略的に示す図である。図11に示す第5変形例の偏光分布調整部材9Eは、図8に示した第2変形例にかかる偏光分布調整部材9Bと類似した構成を有するため、図11では図8に示した部材と同様の機能を有する部材には同じ符号を付してある。図11の第5変形例において、図8に示した第2変形例と異なる構成は、第2旋光光学部材45と第2補正光学部材46である。

[0097] 図11に示す偏光分布調整部材9Eにおいて、第2旋光光学部材45は、たとえば水晶により形成され、光源側に凸状で且つ円筒面状の屈折面45aを向け且つマスク側に平面45bを向けている。図11に示す標準状態において、第2旋光光学部材45の凸状屈折面45aは、第2旋光光学部材45の光軸方向の厚さがX方向に沿ってのみ変化するように、光軸AXを通るY軸に関して対称な円筒面（厳密には放物面）として形成されている。第2補正光学部材46は、たとえば石英（または蛍石など）により形成され、光源側に平面46aを向け、且つマスク側に凹状で且つ円筒面状の屈折面（凸状屈折面45aと相補的に形成された面）46bを向けている。

[0098] そして、第2旋光光学部材45と第2補正光学部材46とは光軸AXを中心として一体的に回転可能に構成されている。この第5変形例にかかる偏光分布調整部材9Eでは、図11に示す標準状態において、第1旋光光学部材41の光軸方向の厚さと第2旋光光学部材45の光軸方向の厚さとの和がx方向およびy方向に沿って一定となり、且つこの厚さの和が偏光方向の回転角 $\theta = 180 \times n$ (nは整数) となるように設定されているため、任意の直線偏光状態の入射光は、偏光分布調整部材9Eによる旋光作用を受けることなく、偏光方向を維持したまま通過する。

[0099] そして、第1旋光光学部材41と第2旋光光学部材45との相対的な回転角を上述の実施形態並びに変形例と同様に変更することによって、ウェハWへの照明光の偏光状態を所望の偏光状態に調整することができる。なお、上述の第5変形例において、第1旋光光学部材41はたとえば第1偏光部材とみなすことができ、第2旋光光学部材45はたとえば第2偏光部材とみなすことができる。

[0100] 図12は、第6変形例にかかる偏光分布調整部材の構成を概略的に示す図である。

図12に示す第6変形例の偏光分布調整部材9Fは、図9に示した第3変形例にかかる偏光分布調整部材9Cと類似した構成を有するため、図12では図9に示した部材と同様の機能を有する部材には同じ符号を付してある。図12の第6変形例において、図9に示した第3変形例と異なる構成は、第2旋光光学部材55と第2補正光学部材56である。

[0101] 図12に示す偏光分布調整部材9Fにおいて、第2旋光光学部材55は、たとえば水晶により形成され、光源側に高次非円筒面形状の屈折面55aを向け且つマスク側に平面55bを向けている。図12に示す標準状態において、第2旋光光学部材55の屈折面55aは、第1旋光光学部材51の光軸方向の厚さがX方向に沿ってのみ変化するような高次非円筒面として形成されている。第2補正光学部材56は、たとえば石英（または蛍石など）により形成され、光源側に平面56aを向け且つマスク側に高次非円筒面形状の屈折面（屈折面55aと相補的に形成された面）56bを向けている。

[0102] そして、第2旋光光学部材55と第2補正光学部材56とは光軸AXを中心として一体的に回転可能に構成されている。この第5変形例にかかる偏光分布調整部材9Fは、図12に示す標準状態において、第1旋光光学部材51の光軸方向の厚さと第2旋光光学部材55の光軸方向の厚さとの和がx方向およびy方向に沿って一定となり、且つこの厚さの和が偏光方向の回転角 $\theta = 180 \times n$ (nは整数) となるように設定されているため、任意の直線偏光状態の入射光は、偏光分布調整部材9Fによる旋光作用を受けることなく、偏光方向を維持したまま通過する。

[0103] そして、第1旋光光学部材51と第2旋光光学部材55との相対的な回転角を上述の実施形態並びに変形例と同様に変更することによって、ウェハWへの照明光の偏光状態を所望の偏光状態に調整することができる。なお、上述の第6変形例において、第1旋光光学部材51はたとえば第1偏光部材とみなすことができ、第2旋光光学部材55はたとえば第2偏光部材とみなすことができる。

[0104] また、上述の説明では、1組の偏光分布調整部材を用いているが、2組以上の偏光分布調整部材を用いることもできる。以下、図13を参照して説明する。図13(a)は第7変形例にかかる偏光分布調整部材の構成を概略的に示す図である。第7変形例にかかる偏光分布調整部材は、上述の実施形態にかかる偏光分布調整部材9と、第5

変形例にかかる偏光分布調整部材9Eとを組み合わせたものである。なお、この構成において、第5変形例にかかる偏光分布調整部材9Eに代えて、第1乃至第4変形例および第6変形例にかかる偏光分布調整部材9A、9B、9C、9D、9Fを適用することもできる。なお、第7変形例において、第1旋光光学部材21または41はたとえば第1偏光部材とみなすことができ、第2旋光光学部材23または45はたとえば第2偏光部材とみなすことができる。

[0105] 図13(b)は第8変形例にかかる偏光分布調整部材の構成を概略的に示す図である。第8変形例にかかる偏光分布調整部材は、第7変形例にかかる偏光分布調整部材9中の第2旋光光学部材23と偏光分布調整部材9E中の第1旋光光学部材41とを一体化した旋光光学部材71を備えている。ここで、この旋光光学部材71、第2補正光学部材24、および第1補正光学部材42は、光軸AXを中心として回転可能に構成されている。なお、第8変形例において、第1旋光光学部材21または旋光光学部材71はたとえば第1偏光部材とみなすことができ、第2旋光光学部材45または旋光光学部材71はたとえば第2偏光部材とみなすことができる。

[0106] また、上述の説明では、光軸AXに関して1回回転対称または2回回転対称な厚み分布を持つ旋光光学部材を用いたが、これに限定されることなく、3回回転対称以上（但し、回転軸に関して無限回回転対称を除く）の回転対称性を有する厚み分布を持つ旋光光学部材を用いてもよい。図14は、第9変形例に係る偏光分布調整部材中の旋光光学部材の厚み分布を概略的に示した図であり、図14(a)は等高線図、図14(b)は鳥瞰図を示している。図14に示す第9変形例では、回転軸（光軸AX）に関し3回回転対称な厚み分布を有する旋光光学部材を適用しており、これにより、3θ偏光状態分布があつたとしてもこれを良好に補正できる。なお、不図示ではあるが、この第9変形例の旋光光学部材には、この厚み分布と相補的な厚み分布を有する補正光学部材が組み合わされる。

[0107] 図15は第10変形例にかかる偏光分布調整部材の構成を概略的に示す図である。第10変形例にかかる偏光分布調整部材9G+9H(210、220、230、240)は、上述の実施形態にかかる偏光分布調整部材9(21、22、23、24)の光軸近傍（回転軸近傍）に開口部を設けたものである。このような構成によって、光軸近傍の開口部210a

を通過する光と、周辺を通過する光とに対して異なる偏光状態の変化を与えることができる。なお、第10変形例において、第1旋光光学部材210はたとえば第1偏光部材とみなすことができ、第2旋光光学部材230はたとえば第2偏光部材とみなすことができる。

[0108] また、上述の説明では、偏光分布調整部材中の旋光光学部材(偏光部材)を1つの光学部材で形成したが、これを複数の旋光光学素子の集合体で構成しても良い。図16は第11変形例にかかる偏光分布調整部材47、48の構成を概略的に示す図である。図16(a)は偏光分布調整部材47のXY平面図であり、図16(b)は偏光分布調整部材47のXZ断面図である。また、図16(c)は偏光分布調整部材48のXY平面図であり、図16(d)は偏光分布調整部材48のXZ断面図である。

[0109] 図16(a)および(b)において、偏光分布調整部材47は、光軸AXを横切る方向に長手方向を有し且つ平行平板の形状を有する複数の旋光光学素子47A～47Eと、これら複数の旋光光学素子47A～47Eを長手方向と直交する短手方向に沿って積み重ねるように保持し且つ回転軸(本変形例では光軸AX)を中心として回転可能な保持部材47Fとを備えている。

[0110] 偏光分布調整部材47全体は、図11に示した第5変形例の偏光分布調整部材41の旋光量分布を近似した回転非対称(本変形例では2回回転対称)な旋光量分布を備えている。図16(b)の断面図に示す通り、この旋光量分布を得るために、光軸AX(本変形例では回転軸)近傍に位置決めされる旋光光学素子47Aは第1の厚さを備え、この旋光光学素子47Aの両隣に位置決めされる旋光光学素子47B、47Dは、当該第1の厚さよりも厚い第2の厚さを備え、旋光光学素子47B、47Dの外側に位置決めされる旋光光学素子47C、47Eは、旋光光学素子47B、47Dの第2の厚さよりも厚い第3の厚さを備えている。

[0111] また、偏光分布調整部材48は、図16(c)および(d)に示す通り、光軸AXを横切る方向に長手方向を有し且つ平行平板の形状を有する複数の旋光光学素子48A～48Eと、これら複数の旋光光学素子48A～48Eを長手方向と直交する短手方向に沿って積み重ねるように保持し且つ回転軸(本変形例では光軸AX)を中心として回転可能な保持部材48Fとを備えている。

- [0112] この偏光分布調整部材48全体は、図11に示した第5変形例の偏光分布調整部材45の旋光量分布を近似した回転非対称(本変形例では2回回転対称)な旋光量分布を備えている。図16(d)の断面図に示す通り、この旋光量分布を得るために、光軸AX(本変形例では回転軸)近傍に位置決めされる旋光光学素子48Aは第4の厚さを備え、この旋光光学素子48Aの両隣に位置決めされる旋光光学素子48B、48Dは、当該第4の厚さよりも薄い第5の厚さを備え、旋光光学素子48B、48Dの外側に位置決めされる旋光光学素子48C、48Eは、旋光光学素子48B、48Dの第5の厚さよりも薄い第6の厚さを備えている。すなわち、偏光分布調整部材48全体の旋光量分布は、偏光分布調整部材47と相補的な旋光量分布となっている。
- [0113] ここで、旋光光学素子47Aの第1の厚さと旋光光学素子48Aの第4の厚さとの和と、旋光光学素子47B、47Dの第2の厚さと旋光光学素子48B、48Dの第5の厚さとの和と、旋光光学素子47C、47Eの第3の厚さと旋光光学素子48C、48Eの第6の厚さとの和とは、互いに同じとなっている。
- [0114] この構成により、第11変形例では、第5変形例に示した偏光分布調整部材と同等の機能を達成している。なお、図16に示した第11変形例では、5つの位相素子(旋光光学素子)で構成されているが、位相素子の数は5つには限定されない。たとえば、位相光学素子の数を増やすことにより、全体として図9の第3変形例や図12の第6変形例にかかる偏光分布調整部材の旋光量分布を近似した旋光量分布を持つ偏光分布調整部材を得ることができる。なお、第11変形例において、複数の旋光光学素子47A～47Eの集合体は第1偏光部材とみなすことができ、複数の旋光光学素子48A～48Eの集合体はたとえば第2偏光部材とみなすことができる。
- [0115] また、上述の第11変形例では、平行平板形状の複数の旋光光学素子を用いたが、複数の旋光光学素子としては、平行平板状には限定されない。図17(a)、(b)は、第12変形例にかかる偏光分布調整部材470、480の構成を概略的に示す断面図である。第12変形例の偏光分布調整部材470は、第11変形例の偏光分布調整部材47とほぼ同様の旋光量分布を有し、平行平板状の旋光光学素子47B～47Eに代えて、クサビ状の複数の旋光光学素子470B～470Eを備えている。また、偏光分布調整部材480は、第11変形例の偏光分布調整部材48とほぼ同様の旋光量

分布を有し、平行平板状の旋光光学素子48B～48Eに代えて、クサビ状の複数の旋光光学素子480B～480Eを備えている。

[0116] このように平行平板状に代えてクサビ状の旋光光学素子470B～470E、480B～480Eを用いることにより、旋光量分布の近似精度を向上させることができる。なお、これら複数の旋光光学素子470A～470E、480A～480Eの入射面470Aa～470Ea、480Aa～480Eaを平面状から凹円筒面または凸円筒面などの曲面状にしてもよい。なお、第12変形例において、複数の旋光光学素子470A～470Eの集合体は第1偏光部材とみなすことができ、複数の旋光光学素子480A～480Eの集合体はたとえば第2偏光部材とみなすことができる。

[0117] また、図17(c)、(d)の第13変形例のように、クサビ状や曲面状などの非平行平板状の旋光光学素子を用いる場合には、当該非平行平板状の旋光光学素子と相補的な面を持つ補正光学素子を旋光光学素子と組み合わせることが好ましい。

[0118] 図17(c)は、図17(a)に示した第12変形例の偏光分布調整部材470の複数の旋光光学素子470A～470Eに、補正光学素子471A～471Eを組み合わせた第13変形例にかかる偏光分布調整部材471を示す。図17(c)に示す通り、旋光光学素子470A～470Eの各々と補正光学素子471A～471Eの各々とは全体として平行平板状の形態を有するように保持部材47F内に収納されている。

[0119] また、図17(d)は、図17(b)に示した第12変形例の偏光分布調整部材480の複数の旋光光学素子480A～480Eに、補正光学素子481A～481Eを組み合わせた第13変形例にかかる偏光分布調整部材481を示す。図17(d)に示す通り、旋光光学素子480A～480Eの各々と補正光学素子481A～481Eの各々とは全体として平行平板状の形態を有するように保持部材48F内に収納されている。

[0120] このように、第13変形例では、各々の旋光光学素子と各々の補正光学素子との組が全体として平行平板状の形態を有しているため、偏光分布調整部材471、481を通過する光の進行方向を維持することができる。なお、第13変形例において、複数の旋光光学素子470A～470Eの集合体は第1偏光部材とみなすことができ、複数の旋光光学素子480A～480Eの集合体はたとえば第2偏光部材とみなすことができる。

- [0121] また、上述した第12変形例並びに第13変形例では、複数の旋光光学素子(および補正光学素子)を保持部材によって保持したが、この構成に限定されることなく、1枚の光透過性の基板上に複数の旋光光学素子を配列することもできる。図18は、第14変形例にかかる偏光分布調整部材25、26の構成を概略的に示す図である。
- [0122] 図18(a)、(b)は、第14変形例にかかる偏光分布調整部材25の構成を概略的に示す図であり、図18(c)、(d)は第14変形例にかかる偏光分布調整部材26の構成を概略的に示す図である。ここで、図18(a)は偏光分布調整部材25の平面図、図18(b)は偏光分布調整部材25の断面図であり、図18(c)は偏光分布調整部材26の平面図、図18(d)は偏光分布調整部材26の断面図である。
- [0123] 図18(a)、(b)において、偏光分布調整部材25は、光軸AXを横切る方向に長手方向を有し且つ平行平板の形状を有する複数の旋光光学素子25A～25Eと、これら複数の旋光光学素子25A～25Eを長手方向と直交する短手方向に沿って積み重ねるように保持し且つ回転軸(本変形例では光軸AX)を中心として回転可能な保持基板25Fとを備えている。ここで、保持基板25Fはたとえば石英などの光透過性の非晶質光学材料から形成され、複数の旋光光学素子25A～25Eは、この保持基板25F上にオプティカル・コンタクトなどの手法により固定されている。なお、偏光分布調整部材25全体は、図16に示した第11変形例の偏光分布調整部材47の旋光量分布と同等の回転非対称(本変形例では2回回転対称)な旋光量分布を備えている。
- [0124] 偏光分布調整部材26は、図18(c)および(d)に示す通り、光軸AXを横切る方向に長手方向を有し且つ平行平板の形状を有する複数の旋光光学素子26A～26Eと、これら複数の旋光光学素子26A～26Eを長手方向と直交する短手方向に沿って積み重ねるように保持し且つ回転軸(本変形例では光軸AX)を中心として回転可能な保持部材26Fとを備えている。ここで、保持基板26Fもたとえば石英などの光透過性の非晶質光学材料から形成され、複数の旋光光学素子26A～26Eは、この保持基板26F上にオプティカル・コンタクトなどの手法により固定されている。
- [0125] そして、第14変形例では、偏光分布調整部材の光軸AX方向における厚みをほぼ一定にするために、補正光学部材251A、251B、251Dがそれぞれ旋光光学素子2

5A、25B、25D上に設けられ、且つ補正光学部材261B～261Eがそれぞれ旋光光学素子26B～26E上に設けられている。なお、この偏光分布調整部材26全体は、図16に示した第11変形例の偏光分布調整部材48の旋光量分布と同等の回転非対称(本変形例では2回回転対称)な旋光量分布を備えている。

[0126] 図18に示した第14変形例において、光軸AXを横切る1方向に沿って集積された複数の旋光光学素子25A～25E、26A～26Eの構成は、第11変形例に示した複数の旋光光学素子47A～47E、48A～48Eの構成とそれぞれほぼ同じ構成であるため、ここでは説明を省略する。そして、第14変形例では、第11変形例に示した偏光分布調整部材と同等の機能を達成している。

[0127] なお、図18に示した第14変形例では、5つの位相素子(旋光光学素子)で構成されているが、位相素子の数は5つには限定されない。たとえば、位相光学素子の数を増やすことにより、全体として図9の第3変形例や図12の第6変形例にかかる偏光分布調整部材の旋光量分布を近似した旋光量分布を持つ偏光分布調整部材を得ることができる。

[0128] また、図18に示した第14変形例において、複数の旋光光学素子(位相素子)は平行平板状の形状には限定されず、第12、第13変形例のようにクサビ状であっても良いし、曲面をもつ形状であってもよい。なお、第14変形例において、複数の旋光光学素子25A～25Eの集合体は第1偏光部材とみなすことができ、複数の旋光光学素子26A～26Eの集合体はたとえば第2偏光部材とみなすことができる。

[0129] なお、第14変形例では、1つの光透過性基板25F、26F上に複数の旋光光学素子(偏光光学素子)25A～25E、26A～26Eを集積したが、複数の旋光光学素子(偏光光学素子)を、2つの光透過性基板で挟むように保持してもよい。図19は、第15変形例にかかる偏光分布調整部材27、28の構成を概略的に示す図であって、図19(a)、(b)は第15変形例にかかる偏光分布調整部材27の構成を概略的に示す図であり、図19(c)、(d)は第15変形例にかかる偏光分布調整部材28の構成を概略的に示す図である。ここで、図19(a)は偏光分布調整部材27の平面図、図19(b)は偏光分布調整部材27の断面図であり、図19(c)は偏光分布調整部材28の平面図、図19(d)は偏光分布調整部材28の断面図である。

- [0130] なお、第15変形例において、光軸AXを横切る1方向に沿って集積された複数の旋光光学素子27A～27E、28A～28Eの構成は、第14変形例に示した複数の旋光光学素子25A～25E、26A～26Eの構成とそれぞれ同じ構成であるため、ここでは説明を省略する。
- [0131] 第15変形例において第14変形例と異なる構成は、光軸AX方向に沿って並んで配置された2つの光透過性基板27F、27Gにより複数の旋光光学素子27A～27Eが挟まれるように保持される点と、光軸AX方向に沿って並んで配置された2つの光透過性基板28F、28Gにより複数の旋光光学素子28A～28Eが挟まれるように保持される点とである。そして、第15変形例の光透過性基板27G、28Gには、複数の旋光光学素子27A～27E、28A～28Eの境界部で発生する恐れのある不要光を防止するために、これら複数の旋光光学素子27A～27E、28A～28Eと重なるように遮光部27G1～27G4、28G1～28G4が形成されている。これにより、複数の旋光光学素子(偏光光学素子)の境界部からの不要光を防止して均一な照明を達成できる。
- [0132] なお、第15変形例においても、上述の第14変形例と同様に各旋光光学素子に補正光学素子を設けてもよいし、各旋光光学素子の形状をクサビ状にしてもよい。なお、第15変形例において、複数の旋光光学素子27A～27Eの集合体は第1偏光部材とみなすことができ、複数の旋光光学素子28A～28Eの集合体はたとえば第2偏光部材とみなすことができる。
- [0133] 上述の第11～第15変形例では、複数の旋光光学素子(位相素子、偏光光学素子)を、光軸を横切る面内で1方向に集積したが、複数の旋光光学素子を集積する方向は1方向には限定されず、たとえば2次元マトリックス状であってもよい。
- [0134] 図20は、光軸を横切る面内で2次元マトリックス状(アレイ状)に配列した複数の旋光光学素子(位相素子、偏光光学素子)を備える、第16変形例にかかる偏光分布調整部材29の構成を概略的に示した図であって、図20(a)は平面図(XY平面図)、図20(b)はA-A矢視図(XZ断面図)、図20(c)はB-B矢視図(YZ断面図)である。
- [0135] 図20(a)～(c)において、偏光分布調整部材29は、光軸AXを横切るXY平面内に配置された複数の旋光光学素子29A1～29E5と、これら複数の旋光光学素子29A

1～29E5をXY平面内で2次元アレイ状に集積するように保持し且つ回転軸(本変形例では光軸AX)を中心として回転可能な保持部材29Fとを備えている。

[0136] ここで、図20(b)のA-A矢視図および図20(c)のB-B矢視図から明らかな通り、光軸近傍を通過し且つ図中Y方向に沿った第1軸線に沿って配列される複数の旋光光学素子29A1～29A5は光軸方向に沿った第1の厚さを備え、当該第1軸線に隣接し且つ平行な第2軸線に沿って配列される複数の旋光光学素子29B1～B5は第1の厚さよりも厚い第2の厚さを備え、第1軸線を挟んで第2軸線とは反対側に位置し第1軸線と平行な第3軸線に沿って配列される複数の旋光光学素子29D1～D5は第2の厚さを備えている。そして、第2軸線の外側に位置し且つ第1軸線と平行に延びた第4軸線に沿って配列される複数の旋光光学素子29C1～29C5と、第3軸線の外側に位置し且つ第1軸線と平行に延びた第5軸線に沿って配列される複数の旋光光学素子29E1～29E5とは、第2の厚さよりも厚い第3の厚さを備えている。

[0137] この偏光分布調整部材29全体は、図16(a)、(b)に示した第11変形例にかかる偏光分布調整部材47の旋光量分布と同等の旋光量分布を備えている。なお、第16変形例において、各軸線(第1～第5軸線)に沿った複数の旋光光学素子の列では、光軸AX方向の厚みが等しい旋光光学素子を用いたが、各軸線に沿って配列される複数の旋光光学素子の厚みを異ならせ、光軸を横切る面内で2次元的な旋光量分布を達成する構成としても良い。また、第16変形例では、5×5のマトリックス状に複数の旋光光学素子を配列したが、マトリックスは5×5には限定されない。

[0138] また、上述の第16変形例では、複数の旋光光学素子(位相素子、偏光素子)の各々の形状が矩形であったが、複数の旋光光学素子(位相素子、偏光素子)の形状は矩形には限定されず、たとえば図21に示す第17変形例のように六角形状であってもよい。

[0139] 図21は第17変形例にかかる偏光分布調整部材37の概略的な構成を示す図であって、図21(a)は第17変形例にかかる偏光分布調整部材37の平面図であり、図21(b)は断面図である。この第17変形例にかかる偏光分布調整部材37は、図20に示した第16変形例の偏光分布調整部材29とほぼ同様の旋光量分布を有している。

[0140] 図21(a)、(b)において、図20に示した第16変形例と異なる構成は、各旋光光学

素子37A1～37A5の外形が六角形状である点と、第14変形例にかかる偏光分布調整部材25、26のように光透過性基板37F上に補正光学素子371A2～371A5付の旋光光学素子が集積されている点とある。

- [0141] 上述の第16変形例や第17変形例にかかる偏光分布調整部材29、37では、旋光量分布が光軸AXを横切る所定の一方向のみに変化している分布であったが、たとえば図14の第9変形例のように、光軸AXを横切る面内で2次元的な分布としてもよい。
- [0142] また、各旋光光学素子(位相素子、偏光素子)の外形は矩形や六角形状には限定されず、他の多角形状でもよい。ただし、光量損失を最小限にするためには、矩形や六角形状などの最密充填配置が可能な形状が好ましい。また、各々の旋光光学素子の形状は同じ形状には限定されず、たとえば正五角形状と菱形の組合せ、正七角形と五角形との組合せ、正八角形と正方形と組合せなどの最密充填配置が可能な形状の組合せであってもよい。
- [0143] また、上述の第11～第17変形例のように、複数の旋光光学素子(位相素子、偏光素子)の境界部分において光量ムラが発生し易いので、たとえば照明瞳面と光学的に共役な面や被照射面と光学的に共役な面から偏光分布調整部材をある程度デフォーカスさせて、境界部分の影響を低減することが好ましい。
- [0144] また、上述の説明では、マイクロフライアイレンズ10の直前の位置に偏光分布調整部材を配置して、照明瞳面における偏光分布を調整している。しかしながら、これに限定されることなく、アフォーカルレンズ5の瞳61またはその近傍、結像光学系13の瞳またはその近傍、マイクロフライアイレンズ10の直前の位置や直後の位置62およびその近傍など、照明光学装置(1～PL)の瞳位置またはその近傍に偏光分布調整部材を配置して、照明瞳面における偏光分布を調整することもできる。
- [0145] また、上述の説明では、偏光分布調整部材として、第1偏光部材(第1旋光光学部材21、31、41、51)と、第2偏光部材(第2旋光光学部材23、33、43、53)を照明光路において互いに隣接するように配置しているが、これに限定されることなく、照明光学装置中の光学系を介して互いにほぼ共役になるように配置することもできる。たとえば、第1偏光部材をアフォーカルレンズ5の瞳61またはその近傍に配置し、第2光

学部材をマイクロフライアイレンズ10の直前の位置や直後の位置62およびその近傍、または結像光学系13の瞳またはその近傍に配置することもできる。

[0146] また、第1組の偏光部材(第1旋光光学部材21、31、41、51および補正光学部材22、32、42、52の組など)と、第2組の偏光部材(第2旋光光学部材23、33、43、53および補正光学部材24、34、44、54の組など)とを異なる構成とするとき、これらの偏光部材の組同士を照明光路において互いに隣接するように配置しても良いし、これに限定されることなく、照明光学装置中の光学系を介して互いにほぼ共役になるように配置しても良い。

[0147] なお、照明瞳面における偏光分布を調整するためには、光束形状変更部材によって断面形状が変更された光束の部分に偏光分布調整部材を配置することが好ましい。このとき、光束断面全体の偏光状態を調整する偏光状態切換部を光束形状変更部材よりも光源側に配置することが好ましい。この構成により、照明瞳面での偏光状態の全体的なオフセット成分を偏光状態切換部で調整でき、照明瞳面内での局所的な偏光状態の分布を偏光分布調整部材で調整することができる。

[0148] また、上述の説明では、照明光学装置(1~PL)の瞳位置またはその近傍に偏光分布調整部材を配置して、照明瞳面における偏光分布を調整している。しかしながら、これに限定されることなく、照明光学装置(1~PL)の被照射面(W)と光学的に共役な位置またはその近傍の位置に偏光分布調整部材を配置して、被照射面であるウェハW上における偏光分布を調整することもできる。この場合、具体的には、マスクMの直前の位置65および/または直後の位置66、マスクブラインド12の直前の位置63または直後の位置64、ウェハWの直前の位置67などに、偏光分布調整部材を配置することになる。ここで、偏光分布調整部材は、波面分割型のオプティカルインテグレートとしてのマイクロフライアイレンズと被照射面との間の光路中に配置されることが好ましい。ここで、照明光学装置(1~PL)の瞳位置またはその近傍の位置、および照明光学装置(1~PL)の被照射面(W)と光学的に共役な位置またはその近傍の位置の双方に偏光分布調整部材を配置してもよい。また、たとえば照明光学装置(1~PL)の瞳位置および被照射面(W)と光学的に共役な位置とは異なる位置68に偏光分布調整部材を配置してもよい。

- [0149] スキャン型(走査型)の露光装置の場合、スキャン平均効果により、被照射面であるウェハW上の静止露光領域において走査方向に沿った偏光分布よりも、走査方向と直交する走査直交方向に沿った偏光分布の方が重要である。したがって、上述の実施形態および各変形例の偏光分布調整部材をスキャン型の露光装置に適用する場合、第1組の旋光光学部材および補正光学部材と第2組の旋光光学部材および補正光学部材とを逆向きに同じ角度だけ回転させて、走査直交方向に沿った偏光分布だけを調整すればよい。
- [0150] また、上述の説明では、光源1から投影光学系PLまでが被照射面であるウェハWを照明する照明光学装置を構成しているが見なしているが、光源1から結像光学系13までが被照射面であるマスクMを照明する照明光学装置を構成していることもできる。この場合、被照射面であるマスクM上における偏光分布を調整するための偏光分布調整部材は、照明光学装置(1~13)の被照射面(M)の近傍、被照射面(M)と光学的に共役な位置またはその近傍の位置に配置されることになる。
- [0151] また、上述の説明では、入射位置に応じて変化する旋光量を入射光に付与する旋光部材(旋光光学部材)を回転させているが、一般的に入射位置に応じて変化する位相量を入射光に付与する位相部材を回転させて、照明瞳面または被照射面における光の偏光分布を調整することもできる。この位相部材は、上述の実施形態および各変形例における旋光光学部材のように、円偏光の回転方向に応じて異なる位相差を与える(等振幅等速度の左右円偏光に分解される直線偏光に所要の旋光量分布を与える)旋光部材であってもよい。また、この位相部材は、たとえば波長板のような直線偏光の振動方向に応じて異なる位相差を与える移相部材であってもよい。このような移相部材としては、水晶などの複屈折性の光学材料から形成されていても良いし、構造複屈折を呈する形状であっても良いし、応力複屈折を有する光学部材であっても良い。また、旋光部材と移相部材とを組み合わせても良い。
- [0152] 上述の実施形態にかかる露光装置では、照明光学装置によってマスク(レチクル)を照明し(照明工程)、投影光学系を用いてマスクに形成された転写用のパターンを感光性基板に露光する(露光工程)ことにより、マイクロデバイス(半導体素子、撮像素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド等)を製造することができる。以下、上述の実

施形態の露光装置を用いて感光性基板としてのウェハ等に所定の回路パターンを形成することによって、マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法の一例につき図22のフローチャートを参照して説明する。

[0153] まず、図22のステップ301において、1ロットのウェハ上に金属膜が蒸着される。次のステップ302において、その1ロットのウェハ上の金属膜上にフォトリソが塗布される。その後、ステップ303において、上述の実施形態の露光装置を用いて、マスク上のパターンの像がその投影光学系を介して、その1ロットのウェハ上の各ショット領域に順次露光転写される。その後、ステップ304において、その1ロットのウェハ上のフォトリソの現像が行われた後、ステップ305において、その1ロットのウェハ上でレジストパターンをマスクとしてエッチングを行うことによって、マスク上のパターンに対応する回路パターンが、各ウェハ上の各ショット領域に形成される。その後、更に上のレイヤの回路パターンの形成等を行うことによって、半導体素子等のデバイスが製造される。上述の半導体デバイス製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する半導体デバイスをスループット良く得ることができる。

[0154] また、上述の実施形態の露光装置では、プレート(ガラス基板)上に所定のパターン(回路パターン、電極パターン等)を形成することによって、マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得ることもできる。以下、図23のフローチャートを参照して、このときの手法の一例につき説明する。図23において、パターン形成工程401では、上述の実施形態の露光装置を用いてマスクのパターンを感光性基板(レジストが塗布されたガラス基板等)に転写露光する、所謂光リソグラフィー工程が実行される。この光リソグラフィー工程によって、感光性基板上には多数の電極等を含む所定パターンが形成される。その後、露光された基板は、現像工程、エッチング工程、レジスト剥離工程等の各工程を経ることによって、基板上に所定のパターンが形成され、次のカラーフィルター形成工程402へ移行する。

[0155] 次に、カラーフィルター形成工程402では、R(Red)、G(Green)、B(Blue)に対応した3つのドットの組がマトリクス状に多数配列されたり、またはR、G、Bの3本のストライプのフィルターの組を複数水平走査線方向に配列したカラーフィルターを形成する。そして、カラーフィルター形成工程402の後に、セル組み立て工程403が実行され

る。セル組み立て工程403では、パターン形成工程401にて得られた所定パターンを有する基板、およびカラーフィルター形成工程402にて得られたカラーフィルター等を用いて液晶パネル(液晶セル)を組み立てる。

- [0156] セル組み立て工程403では、例えば、パターン形成工程401にて得られた所定パターンを有する基板とカラーフィルター形成工程402にて得られたカラーフィルターとの間に液晶を注入して、液晶パネル(液晶セル)を製造する。その後、モジュール組み立て工程404にて、組み立てられた液晶パネル(液晶セル)の表示動作を行わせる電気回路、バックライト等の各部品を取り付けて液晶表示素子として完成させる。上述の液晶表示素子の製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する液晶表示素子をスループット良く得ることができる。
- [0157] なお、上述の実施形態では、露光光としてArFエキシマレーザー光(波長:193nm)やKrFエキシマレーザー光(波長:248nm)を用いているが、これに限定されることなく、他の適当なレーザー光源、たとえば波長157nmのレーザー光を供給するF₂レーザー光源などに対して本発明を適用することもできる。
- [0158] また、上述の実施形態では、露光装置においてマスクまたはウェハを照明する照明光学装置に対して本発明を適用しているが、これに限定されることなく、マスクまたはウェハ以外の被照射面を照明する一般的な照明光学装置に対して本発明を適用することもできる。

請求の範囲

- [1] 光源からの光に基づいて被照射面を照明する照明光学装置において、
前記照明光学装置の光軸または該光軸にほぼ平行な軸線を中心として回転可能に配置された第1偏光部材と、
該第1偏光部材と前記被照射面との間の光路中に前記光軸または前記ほぼ平行な軸線を中心として回転可能に配置された第2偏光部材とを備え、
前記第1偏光部材と前記第2偏光部材とは、それぞれ入射位置に応じて異なる偏光状態の変化量を入射光に付与することを特徴とする照明光学装置。
- [2] 前記光源と前記第1偏光部材との間の光路中に配置され、前記光源からの光の光束断面形状を変更するための光束形状変更部材をさらに備えることを特徴とする請求項1に記載の照明光学装置。
- [3] 前記光束形状変更部材は前記光源と前記第1偏光部材との間の前記光路に挿脱可能であることを特徴とする請求項2に記載の照明光学装置。
- [4] 前記第1偏光部材および前記第2偏光部材の少なくとも一方は、前記照明光学装置の瞳面の位置または該瞳面の近傍の位置に配置されることを特徴とする請求項1乃至3のいずれか1項に記載の照明光学装置。
- [5] 前記第1偏光部材および前記第2偏光部材の少なくとも一方は、前記被照射面の近傍の位置、前記被照射面と光学的に共役な位置、または該共役な位置の近傍に配置されることを特徴とする請求項1乃至4のいずれか1項に記載の照明光学装置。
- [6] 前記光源と前記第1偏光部材および前記第2偏光部材との間の光路中に配置されるオプティカルインテグレータをさらに備えていることを特徴とする請求項5に記載の照明光学装置。
- [7] 前記第1偏光部材および前記第2偏光部材の少なくとも一方は、前記入射位置に応じて変化する位相量を前記入射光に付与する位相部材を備えていることを特徴とする請求項1乃至6のいずれか1項に記載の照明光学装置。
- [8] 前記位相部材は複屈折性の材料から形成されることを特徴とする請求項7に記載の照明光学装置。
- [9] 前記位相部材は、直線偏光の振動方向に応じて異なる位相差を与える移相部材を

備えることを特徴とする請求項7または8に記載の照明光学装置。

- [10] 前記位相部材は、円偏光の回転方向に応じて異なる位相差を与える旋光部材を備えることを特徴とする請求項7乃至9のいずれか1項に記載の照明光学装置。
- [11] 前記旋光部材は、前記光軸と交差する方向に移動可能であることを特徴とする請求項10に記載の照明光学装置。
- [12] 前記旋光部材は、旋光性の光学材料により形成されて、前記光軸方向の厚さが前記光軸と直交する所定方向に沿って変化する第1旋光光学部材を有することを特徴とする請求項10または11に記載の照明光学装置。
- [13] 前記第1旋光光学部材は、前記光軸にほぼ垂直な平面状の第1面と、前記光軸に垂直な平面とは実質的に異なる面形状の第2面とを有することを特徴とする請求項12に記載の照明光学装置。
- [14] 前記旋光部材は、前記第1旋光光学部材の前記第2面と相補的な面形状で且つ前記第2面に近接した第3面と、前記光軸にほぼ垂直な平面状の第4面とを有する第1補正光学部材を備え、
前記第1旋光光学部材と前記第1補正光学部材とは一体的に保持されていることを特徴とする請求項13に記載の照明光学装置。
- [15] 前記旋光部材は、旋光性の光学材料により形成されて、前記光軸にほぼ垂直な平面状の第5面と、前記第1旋光光学部材の前記第2面と相補的な面形状の第6面とを有する第2旋光光学部材を備えていることを特徴とする請求項13または14に記載の照明光学装置。
- [16] 前記旋光部材は、前記第2旋光光学部材の前記第6面と相補的な面形状で且つ前記第6面に近接した第7面と、前記光軸にほぼ垂直な平面状の第8面とを有する第2補正光学部材を備え、
前記第2旋光光学部材と前記第2補正光学部材とは一体的に保持されていることを特徴とする請求項15に記載の照明光学装置。
- [17] 前記位相部材の位相量分布は、前記位相部材の回転軸を中心として回転非対称な分布であることを特徴とする請求項7乃至16のいずれか1項に記載の照明光学装置。

- [18] 前記回転非対称な分布は、 n を整数とすると、前記回転軸を中心とした n 回転対称分布であることを特徴とする請求項17に記載の照明光学装置。
- [19] 前記位相部材の位相量分布は、前記光軸を横切る方向に沿って線形的に変化する線形成分を備えていることを特徴とする請求項7乃至18のいずれか1項に記載の照明光学装置。
- [20] 前記位相部材の位相量分布は、前記回転軸に関して回転非対称な n 次曲面成分を備えていることを特徴とする請求項17乃至19のいずれか1項に記載の照明光学装置。
- [21] 前記位相部材は、前記位相部材の回転軸を横切る面内に配置された複数の位相素子を備えていることを特徴とする請求項7乃至20のいずれか一項に記載の照明光学装置。
- [22] 前記複数の位相素子は、直線偏光の振動方向に応じて異なる位相差を与える移相素子を備えることを特徴とする請求項21に記載の照明光学装置。
- [23] 前記複数の位相素子は、円偏光の回転方向に応じて異なる位相差を与える旋光素子を備えることを特徴とする請求項21または22に記載の照明光学装置。
- [24] 前記複数の位相素子は、平行平板状の形態を有していることを特徴とする請求項21乃至23のいずれか1項に記載の照明光学装置。
- [25] 前記複数の位相素子全体の位相量分布は、前記位相部材の回転軸を横切る面内において前記回転軸を中心として回転非対称な分布であることを特徴とする請求項21乃至24のいずれか1項に記載の照明光学装置。
- [26] 前記第1偏光部材および前記第2偏光部材は互いに隣接して配置されることを特徴とする請求項1乃至25のいずれか1項に記載の照明光学装置。
- [27] 前記第1偏光部材の回転軸と前記第2偏光部材の回転軸とは互いに共軸であることを特徴とする請求項1乃至26のいずれか1項に記載の照明光学装置。
- [28] 前記第1偏光部材の回転軸と前記第2偏光部材の回転軸とは前記光軸に一致していることを特徴とする請求項27に記載の照明光学装置。
- [29] 前記第1偏光部材と前記第2偏光部材との少なくとも一方は、照明光路の光路外に退避可能であることを特徴とする請求項1乃至28のいずれか1項に記載の照明光学

装置。

- [30] 前記第1偏光部材と前記第2偏光部材との少なくとも一方は、照明光路を横切る方向に移動可能であることを特徴とする請求項1乃至29のいずれか1項に記載の照明光学装置。
- [31] 前記第1偏光部材と前記第2偏光部材との少なくとも一方は、前記光軸に対して傾斜可能であることを特徴とする請求項1乃至30のいずれか1項に記載の照明光学装置。
- [32] 光源からの光に基づいて被照射面を照明する照明光学装置において、
前記照明光学装置の瞳面の位置、または該瞳面の近傍の位置において、前記照明光学装置の光軸または該光軸にほぼ平行な軸線を中心として回転可能に配置されて、入射位置に応じて変化する位相量を入射光に付与する位相部材を備えていることを特徴とする照明光学装置。
- [33] 光源からの光に基づいて被照射面を照明する照明光学装置において、
前記被照射面の近傍の位置、前記被照射面と光学的に共役な位置、または該共役な位置の近傍の位置において、前記照明光学装置の光軸または該光軸にほぼ平行な軸線を中心として回転可能に配置されて、入射位置に応じて変化する位相量を入射光に付与する位相部材を備えていることを特徴とする照明光学装置。
- [34] 前記位相部材は、直線偏光の振動方向に応じて異なる位相差を与える移相部材であることを特徴とする請求項32または33に記載の照明光学装置。
- [35] 前記位相部材は、円偏光の回転方向に応じて異なる位相差を与える旋光部材であることを特徴とする請求項32または33に記載の照明光学装置。
- [36] 光源からの光に基づいて被照射面を照明する照明光学装置において、
照明瞳面における光の偏光分布を調整するための偏光分布調整部材を備え、
前記偏光分布調整部材は、前記照明光学装置の光軸または該光軸にほぼ平行な軸線を中心として回転可能に配置されて、入射位置に応じて変化する旋光量を入射光に付与するための旋光部材を有することを特徴とする照明光学装置。
- [37] 光源からの光に基づいて被照射面を照明する照明光学装置において、
前記被照射面における光の偏光分布を調整するための偏光分布調整部材を備え

前記偏光分布調整部材は、前記照明光学装置の光軸または該光軸にほぼ平行な軸線を中心として回転可能に配置されて、入射位置に応じて変化する旋光量を入射光に付与するための旋光部材を有することを特徴とする照明光学装置。

[38] 前記旋光部材は、前記光軸と交差する方向に移動可能であることを特徴とする請求項35乃至37のいずれか1項に記載の照明光学装置。

[39] 前記旋光部材は、旋光性の光学材料により形成されて、前記光軸方向の厚さが前記光軸と直交する所定方向に沿って変化する第1旋光光学部材を有することを特徴とする請求項35乃至38のいずれか1項に記載の照明光学装置。

[40] 前記第1旋光光学部材は、前記光軸にほぼ垂直な平面状の第1面と、前記光軸に垂直な平面とは実質的に異なる面形状の第2面とを有することを特徴とする請求項39に記載の照明光学装置。

[41] 前記旋光部材は、前記第1旋光光学部材の前記第2面と相補的な面形状で且つ前記第2面に近接した第3面と、前記光軸にほぼ垂直な平面状の第4面とを有する第1補正光学部材を備え、

前記第1旋光光学部材と前記第1補正光学部材とは一体的に保持されていることを特徴とする請求項40に記載の照明光学装置。

[42] 前記旋光部材は、旋光性の光学材料により形成されて、前記光軸にほぼ垂直な平面状の第5面と、前記第1旋光光学部材の前記第2面と相補的な面形状の第6面とを有する第2旋光光学部材を備えていることを特徴とする請求項40または41に記載の照明光学装置。

[43] 前記旋光部材は、前記第2旋光光学部材の前記第6面と相補的な面形状で且つ前記第6面に近接した第7面と、前記光軸にほぼ垂直な平面状の第8面とを有する第2補正光学部材を備え、

前記第2旋光光学部材と前記第2補正光学部材とは一体的に保持されていることを特徴とする請求項42に記載の照明光学装置。

[44] 所定のパターンを感光性基板に露光する露光装置において、

前記所定のパターンまたは前記感光性基板を照明するための請求項1乃至43の

いずれか1項に記載の照明光学装置を備えていることを特徴とする露光装置。

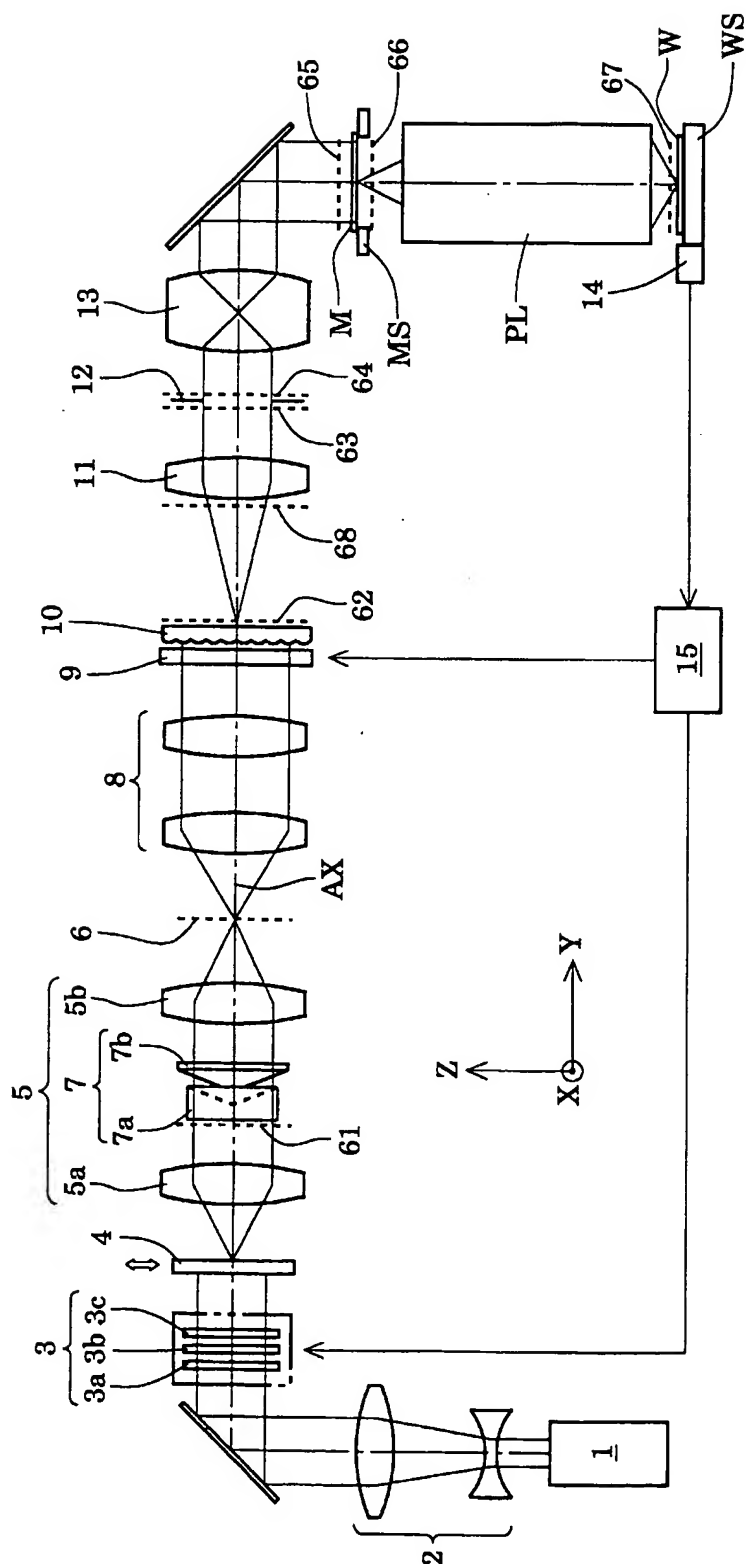
- [45] 前記所定のパターンの像を前記感光性基板上に形成する投影光学系と、
前記投影光学系の瞳面の位置または該瞳面と光学的にほぼ共役な位置における光の偏光状態を測定するための偏光状態測定部と、
前記偏光状態測定部の測定結果に基づいて、前記偏光部材、前記位相部材または前記旋光部材を制御するための制御部とを備えていることを特徴とする請求項44に記載の露光装置。
- [46] 前記偏光状態測定部は、前記投影光学系を経由した光の偏光状態を測定することを特徴とする請求項45に記載の露光装置。
- [47] 前記所定のパターンに対応する位置または前記感光性基板に対応する位置における光の偏光状態を測定するための偏光状態測定部と、
前記偏光状態測定部の測定結果に基づいて、前記偏光部材、前記位相部材または前記旋光部材を制御するための制御部とを備えていることを特徴とする請求項44に記載の露光装置。
- [48] 所定のパターンを感光性基板に露光する露光方法において、
請求項1乃至43のいずれか1項に記載の照明光学装置を用いて前記所定のパターンまたは前記感光性基板を照明する照明工程を含むことを特徴とする露光方法。
- [49] 前記所定のパターンの像を前記感光性基板上に形成する投影光学系の瞳面の位置または該瞳面と光学的にほぼ共役な位置における光の偏光状態を測定する偏光状態測定工程と、
前記偏光状態測定工程の測定結果に基づいて、前記偏光部材、前記位相部材または前記旋光部材を制御するための制御工程とを含むことを特徴とする請求項48に記載の露光方法。
- [50] 前記偏光状態測定工程は、前記投影光学系を経由した光の偏光状態を測定することを特徴とする請求項49に記載の露光方法。
- [51] 前記所定のパターンに対応する位置または前記感光性基板に対応する位置における光の偏光状態を測定する偏光状態測定工程と、
前記偏光状態測定工程の測定結果に基づいて、前記偏光部材、前記位相部材ま

たは前記旋光部材を制御するための制御工程とを含むことを特徴とする請求項48に記載の露光方法。

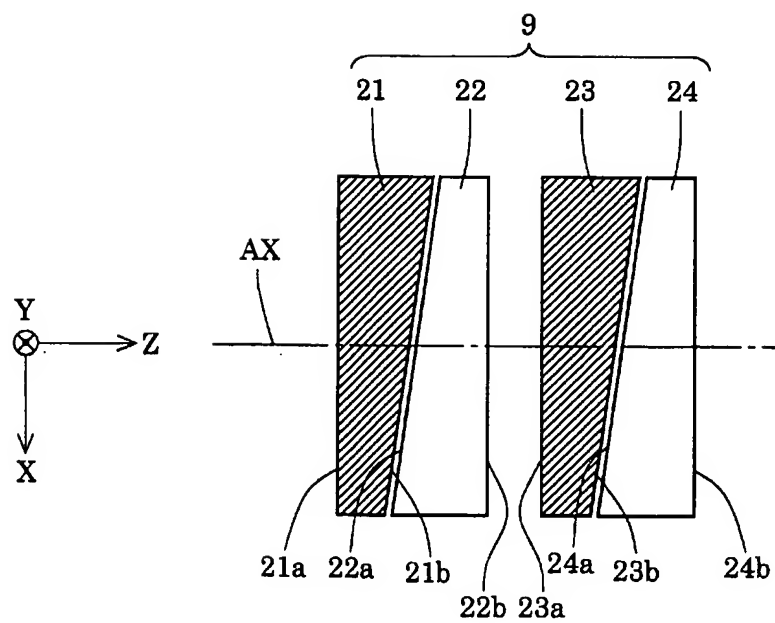
- [52] デバイス製造方法において、
請求項44乃至47のいずれか1項に記載の露光装置を用いて所定のパターンを感光性基板に露光する露光工程と、
露光された前記感光性基板を現像する現像工程とを含むことを特徴とするデバイス製造方法。
- [53] 前記所定のパターンの像を前記感光性基板上に形成する投影光学系の瞳面の位置または該瞳面と光学的にほぼ共役な位置における光の偏光状態を測定する偏光状態測定工程と、
前記偏光状態測定工程の測定結果に基づいて、前記偏光部材、前記位相部材または前記旋光部材を制御するための制御工程とを含むことを特徴とする請求項52に記載のデバイス製造方法。
- [54] 前記所定のパターンに対応する位置または前記感光性基板に対応する位置における光の偏光状態を測定する偏光状態測定工程と、
前記偏光状態測定工程の測定結果に基づいて、前記偏光部材、前記位相部材または前記旋光部材を制御するための制御工程とを含むことを特徴とする請求項52に記載のデバイス製造方法。
- [55] 光源からの光に基づいて被照射面を照明する照明光学装置の調整方法であって、
前記被照射面を照明する光の偏光状態を測定する偏光状態測定工程と、
前記測定された前記偏光状態に基づいて、前記照明光学装置の光路中に配置される第1偏光部材と、前記第1偏光部材と被照射面との間の光路中に配置される第2偏光部材の少なくとも一方を、前記照明光学装置の光軸または該光軸にほぼ平行な軸線を中心として回転させる偏光部材回転工程とを備えていることを特徴とする調整方法。
- [56] 前記偏光状態測定工程では、所定のパターンの像を感光性基板上に形成する投影光学系の瞳面の位置または該瞳面と光学的にほぼ共役な位置における光の偏光状態を測定することを特徴とする請求項55に記載の調整方法。

- [57] 前記偏光状態測定工程では、前記被照射面上の複数の位置において前記偏光状態を計測することを特徴とする請求項55または56に記載の調整方法。
- [58] 前記偏光部材回転工程は、前記第1偏光部材の回転角および前記第2偏光部材の回転角のうちの少なくとも一方を、前記測定された前記偏光状態に基づいて算出する回転角算出工程を備えていることを特徴とする請求項55乃至57のいずれか1項に記載の調整方法。
- [59] 光源からの光に基づいて被照射面を照明する照明光学装置の製造方法であって、
前記照明光学装置の光軸または該光軸に平行な軸線に沿って回転可能な第1偏光部材および第2偏光部材を準備する工程と、
請求項55乃至58のいずれか1項に記載の調整方法にしたがって、前記第1偏光部材および前記第2偏光部材のうちの少なくとも一方を回転調整する工程とを備えていることを特徴とする製造方法。

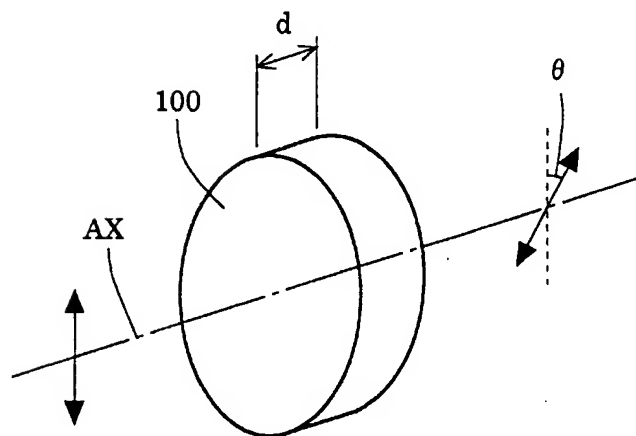
[図1]



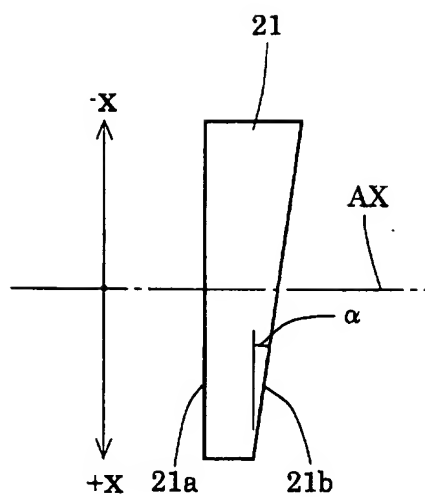
[図2]



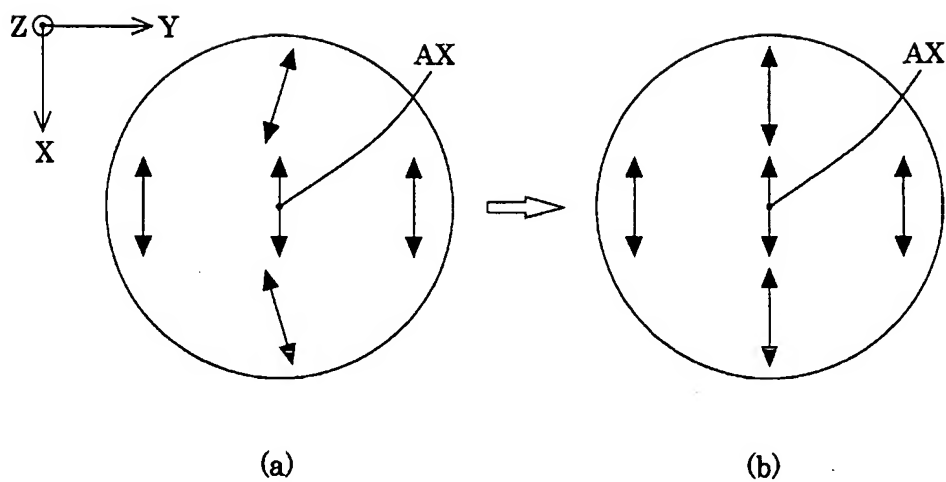
[図3]



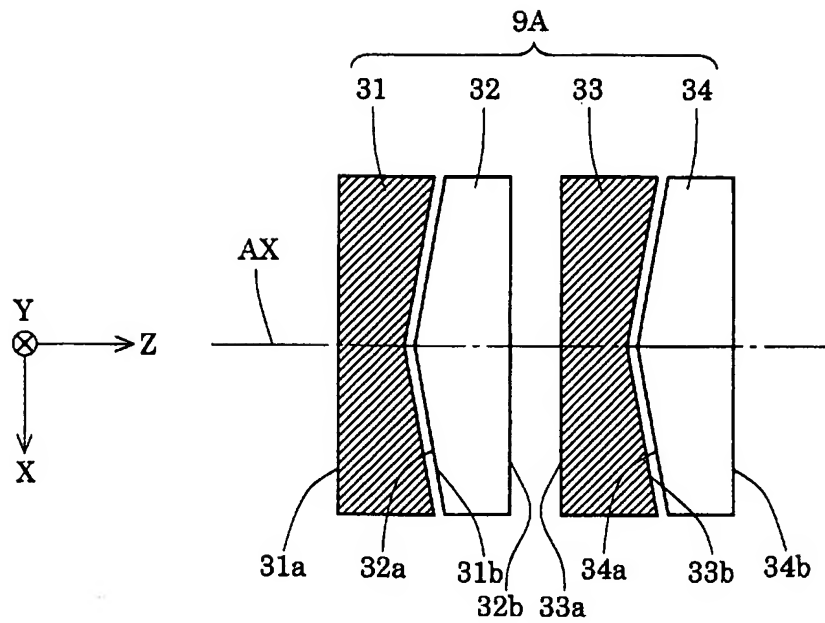
[図4]



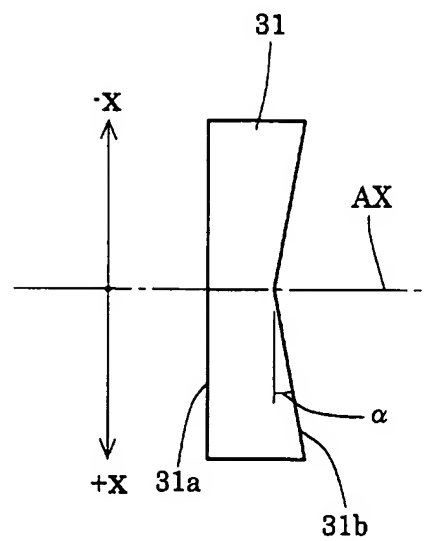
[図5]



[図6]

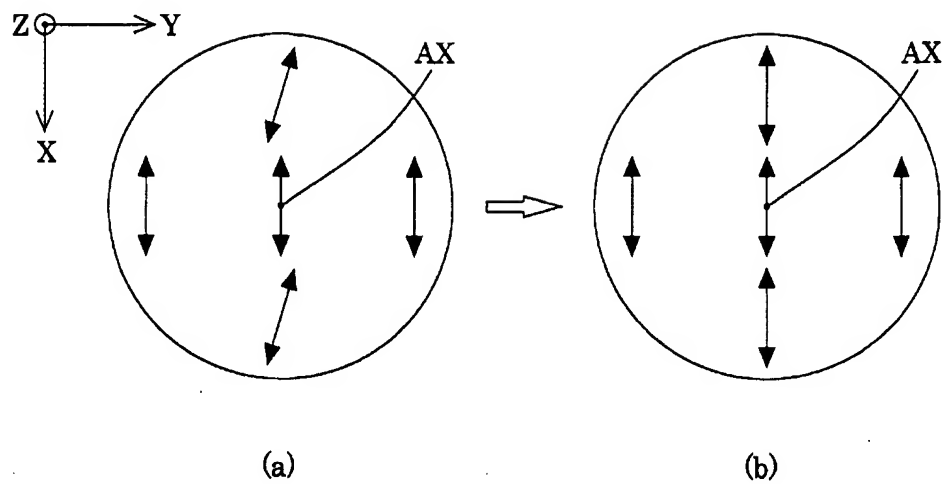


(a)

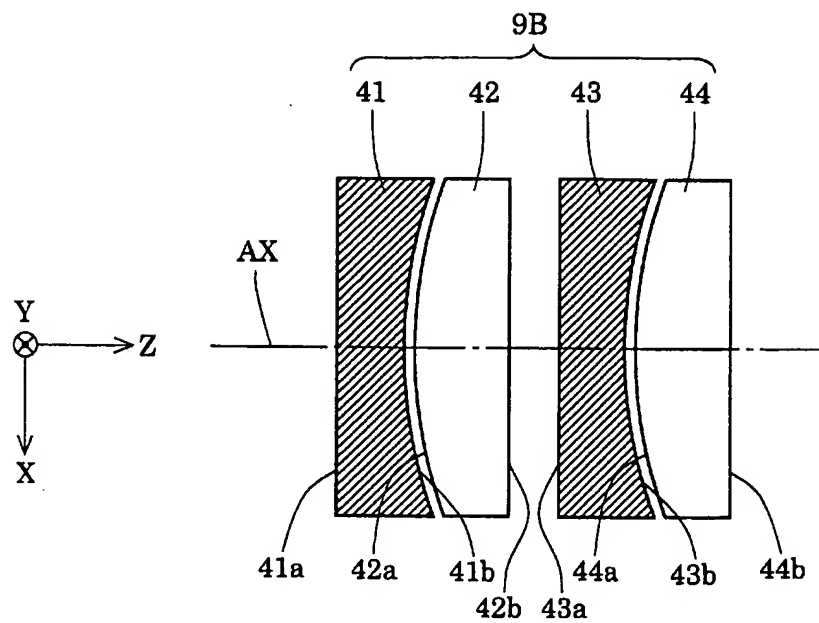


(b)

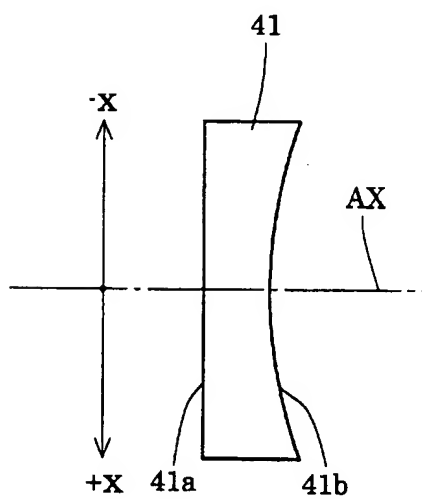
[図7]



[図8]

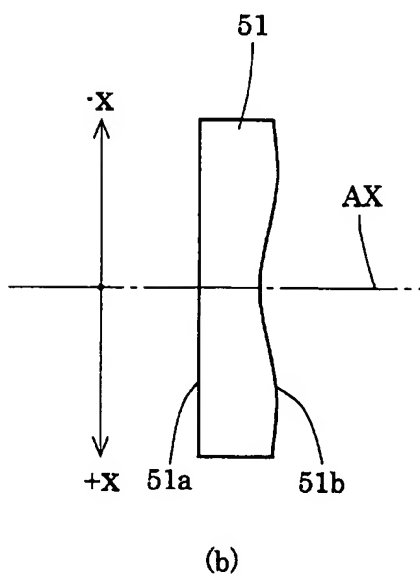
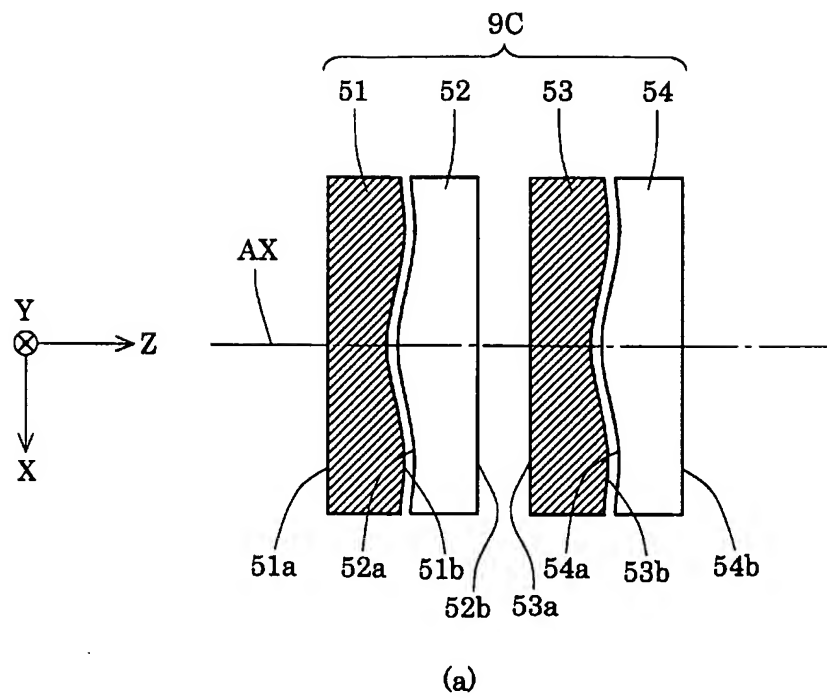


(a)

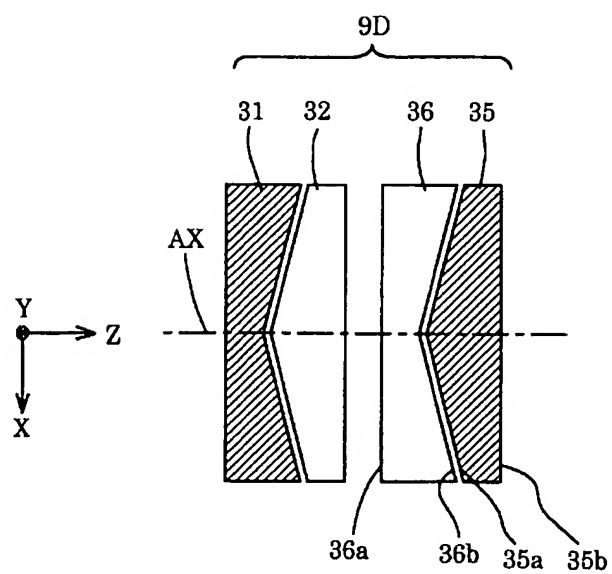


(b)

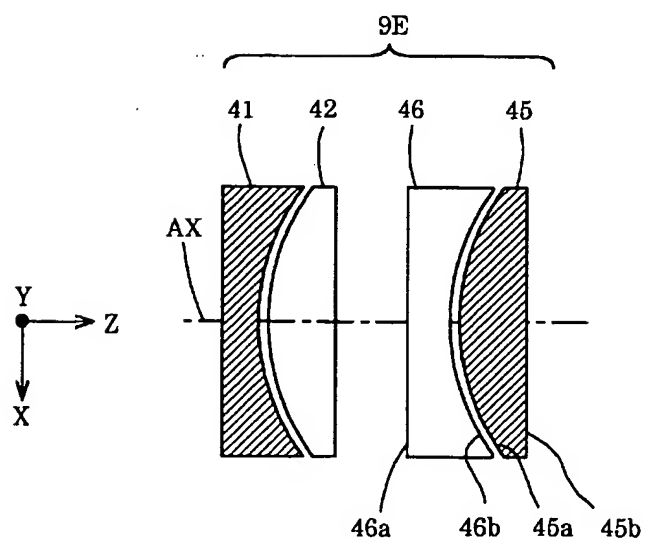
[図9]



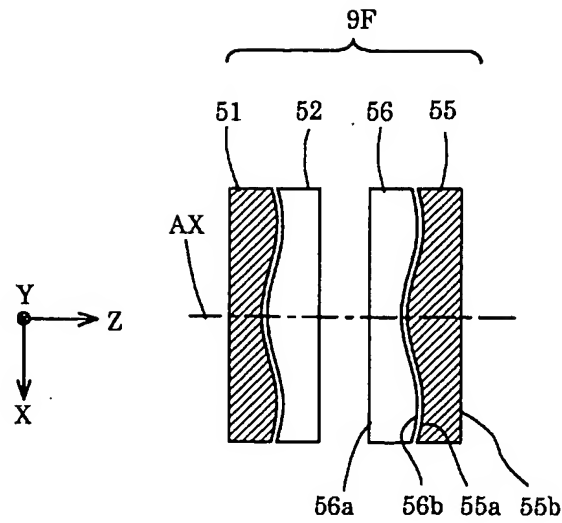
[図10]



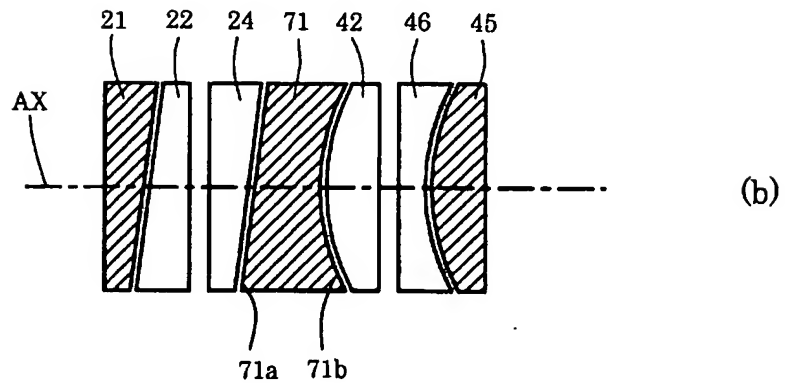
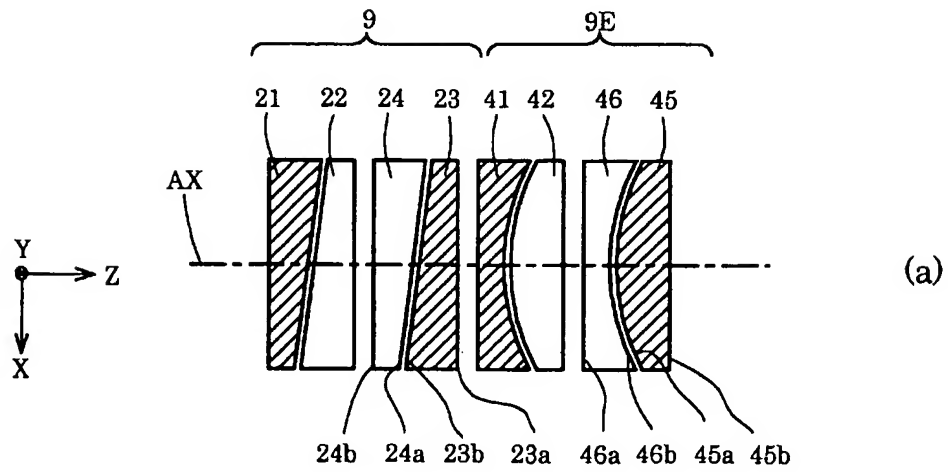
[図11]



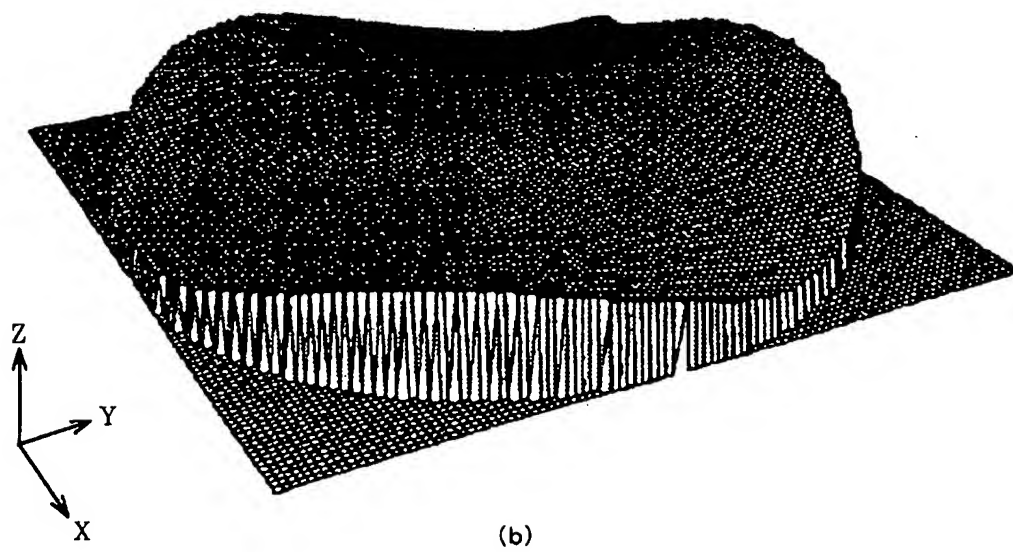
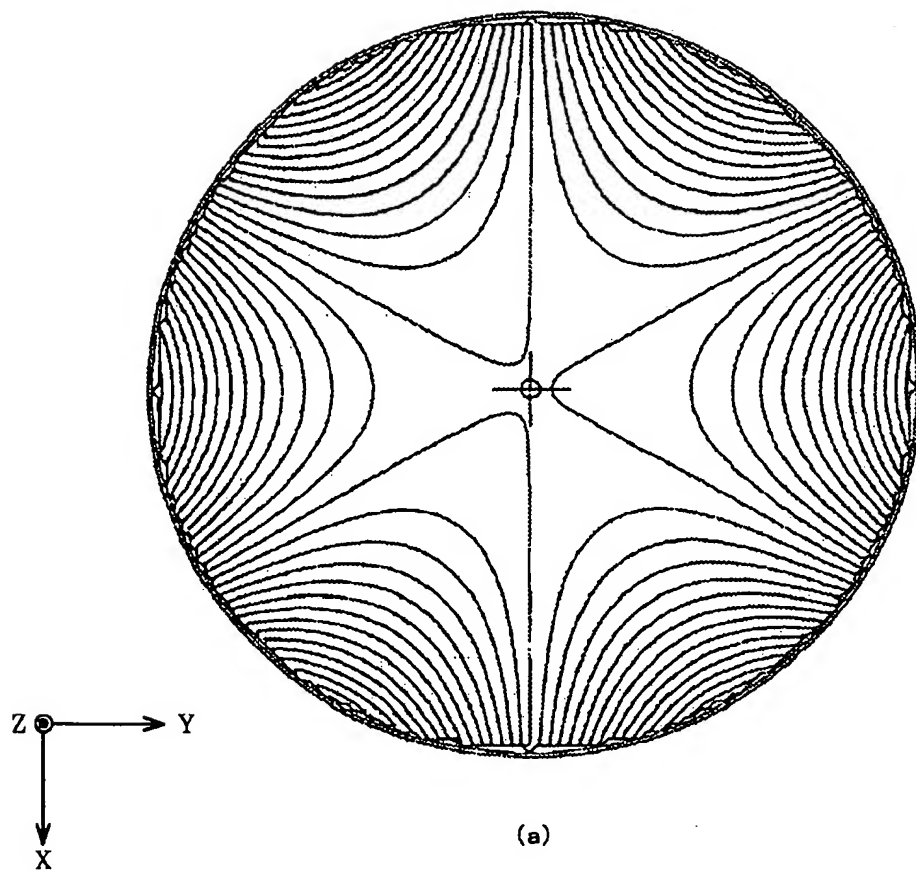
[図12]



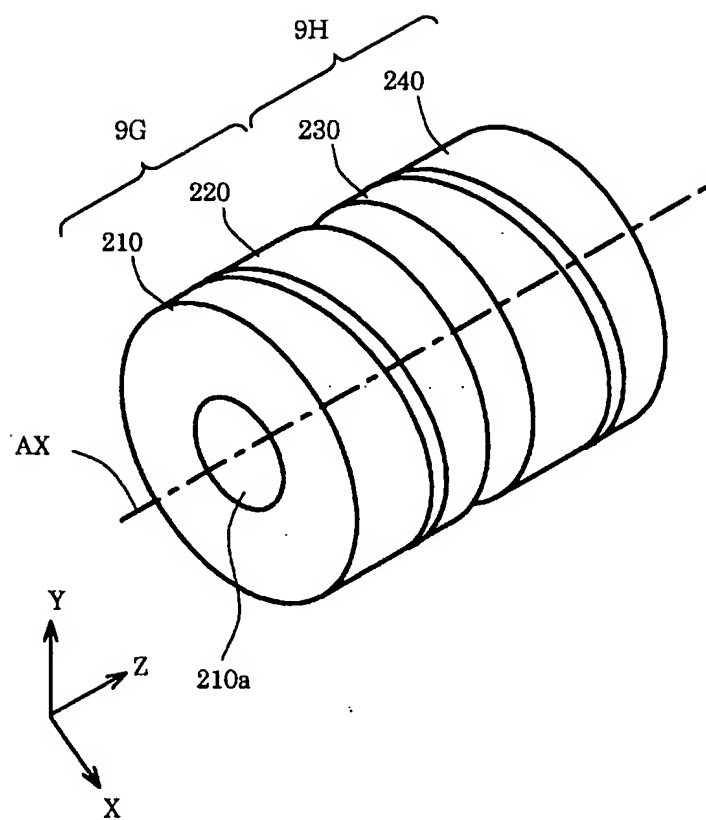
[図13]



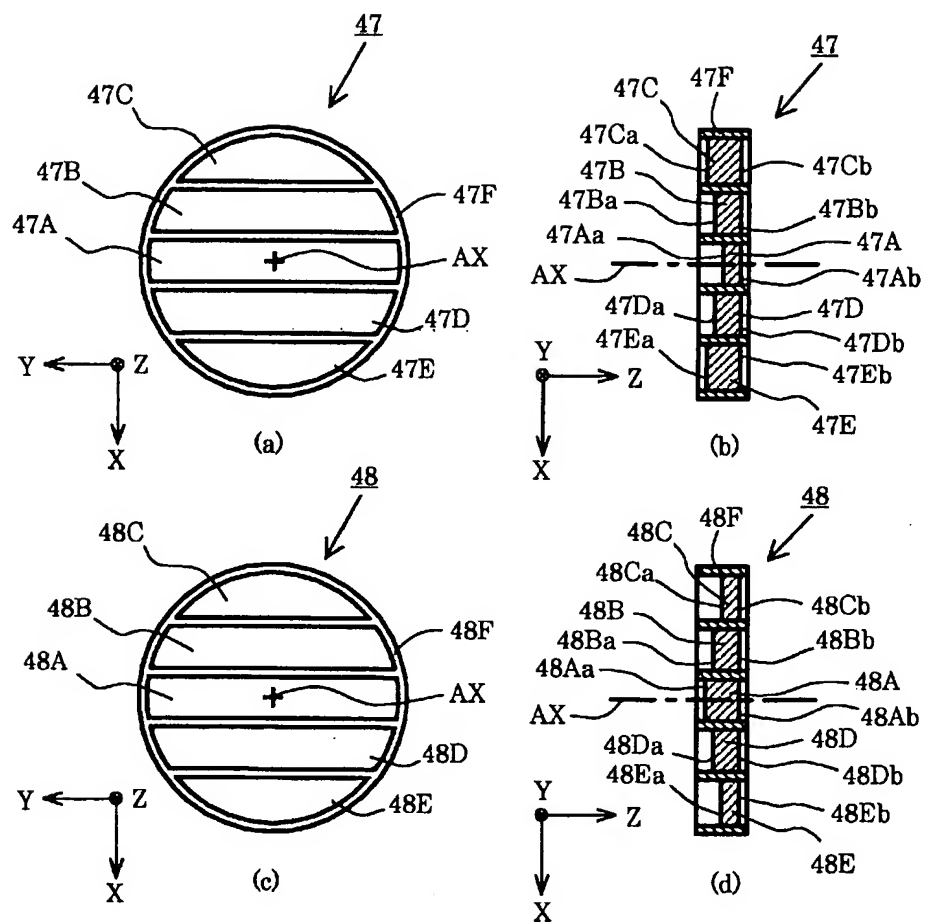
[図14]



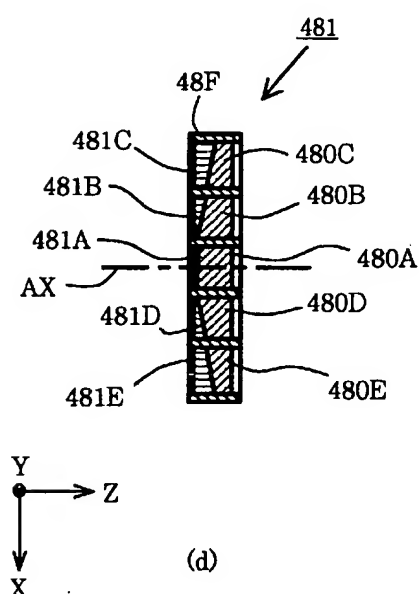
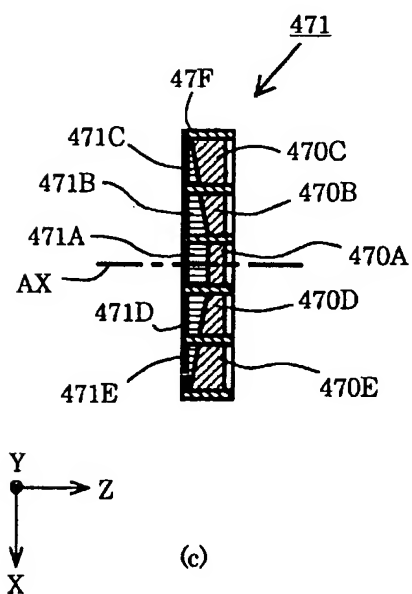
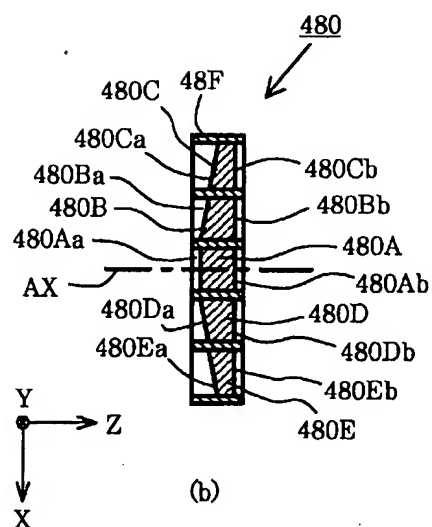
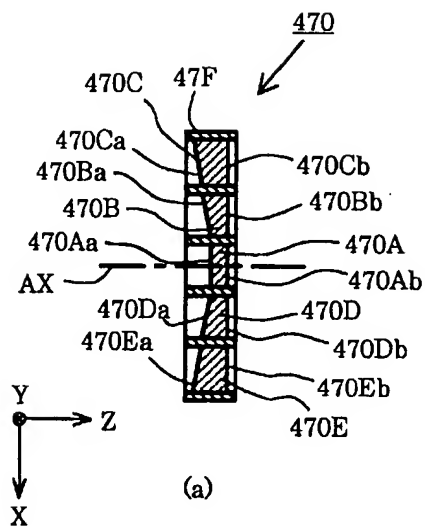
[図15]



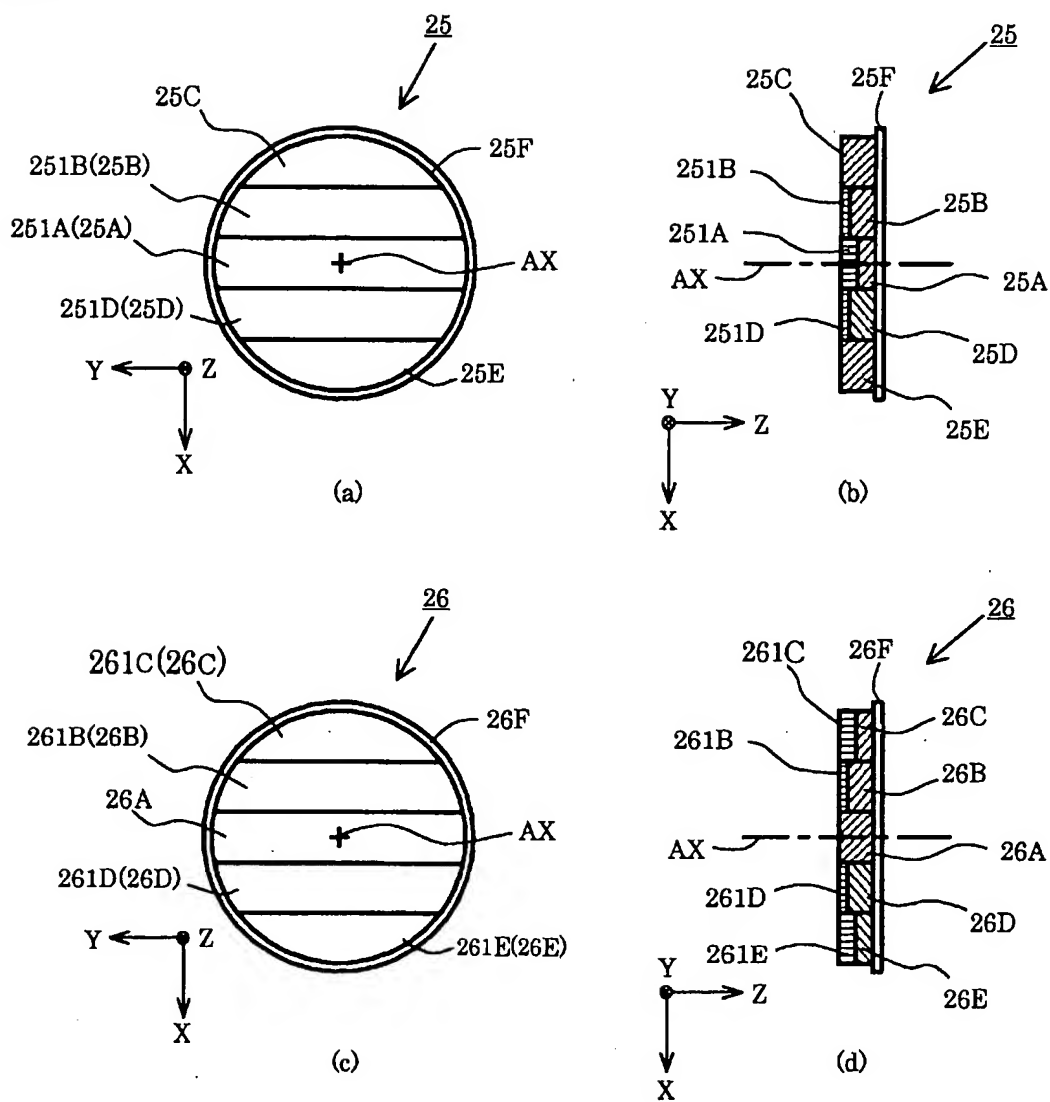
[図16]



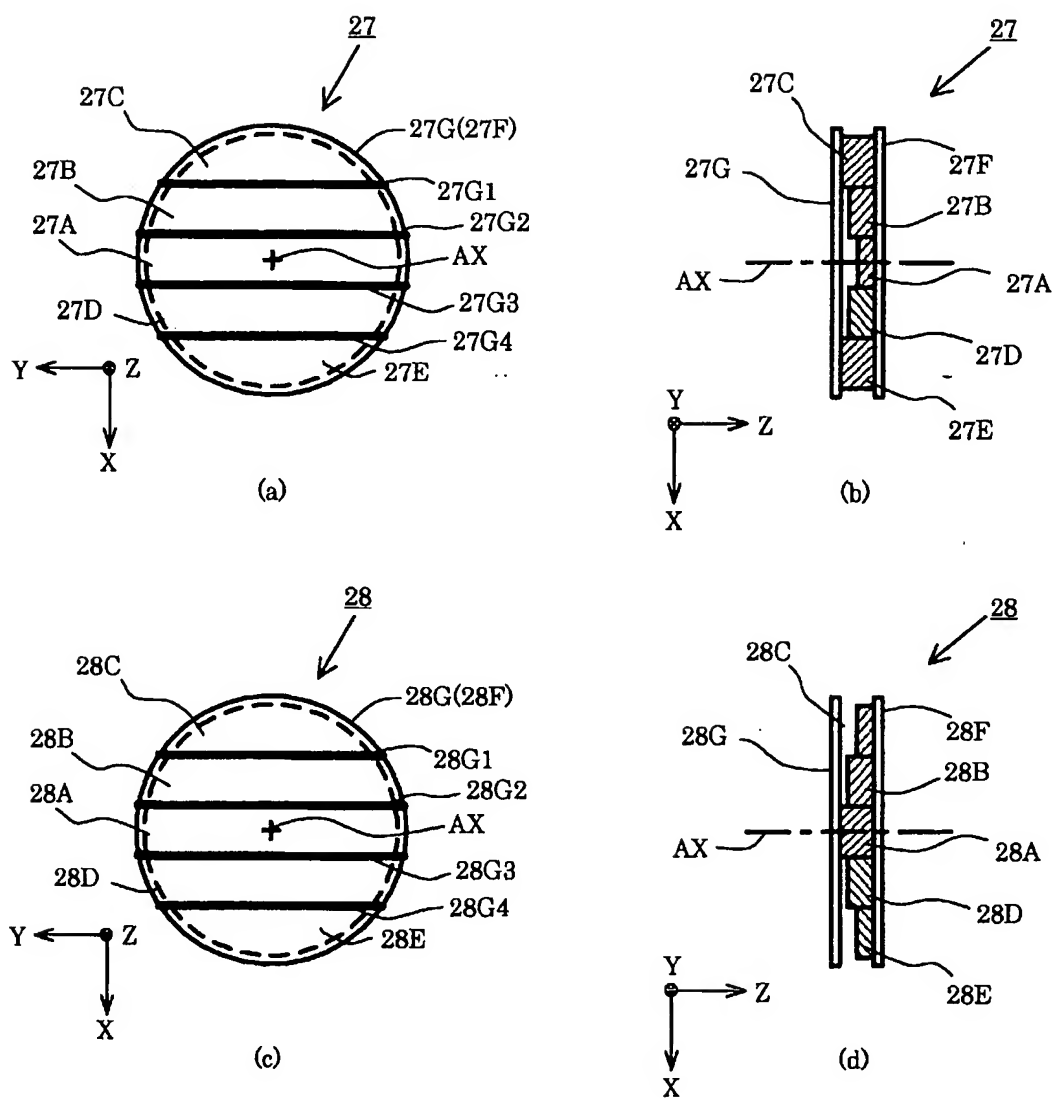
[図17]



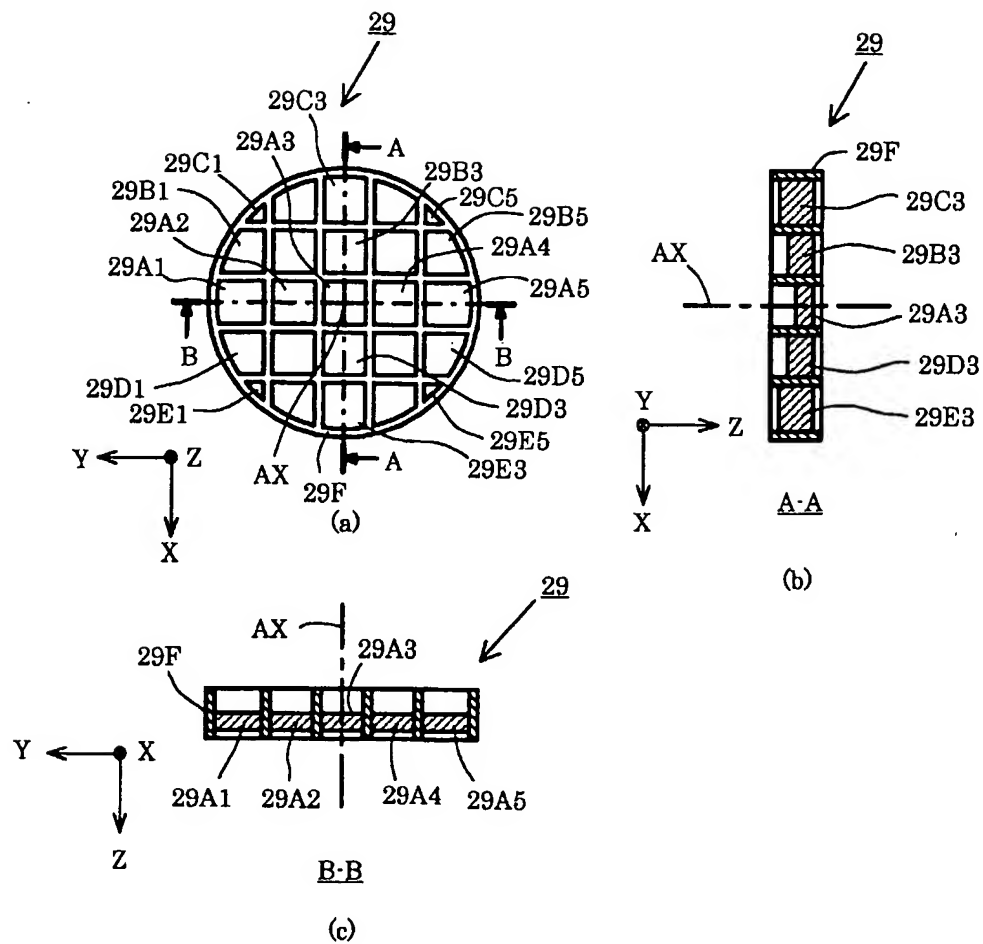
[図18]



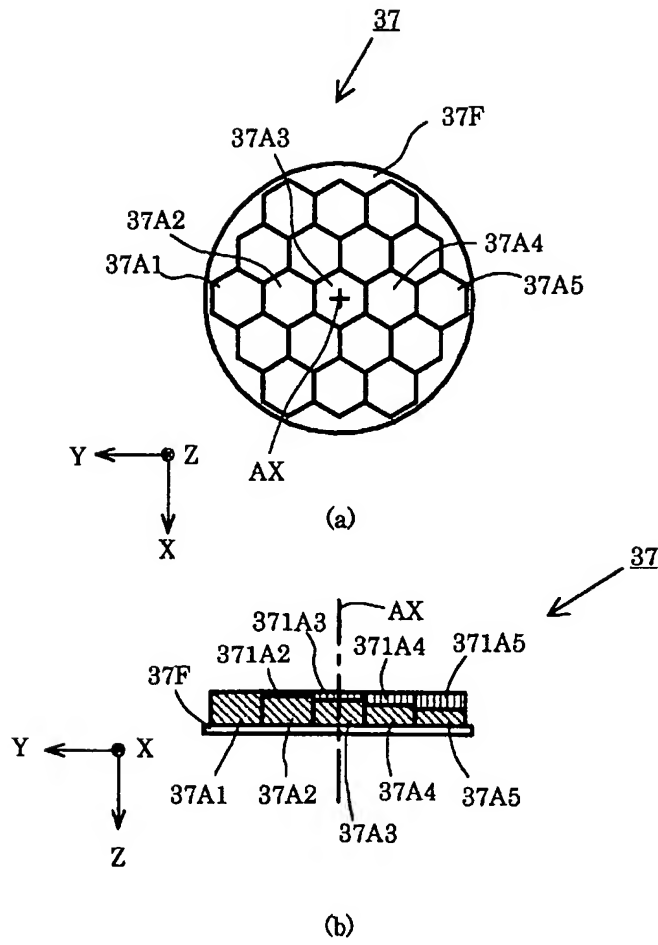
[図19]



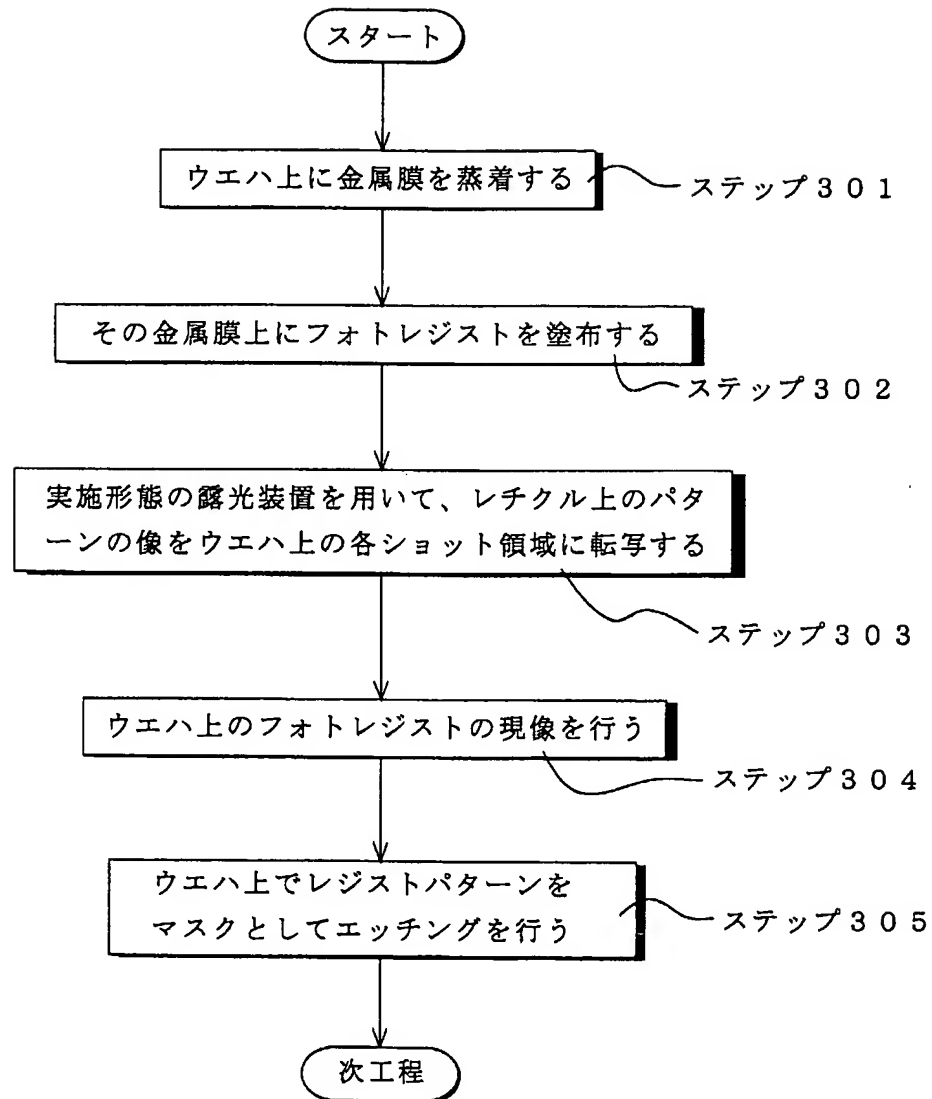
[図20]



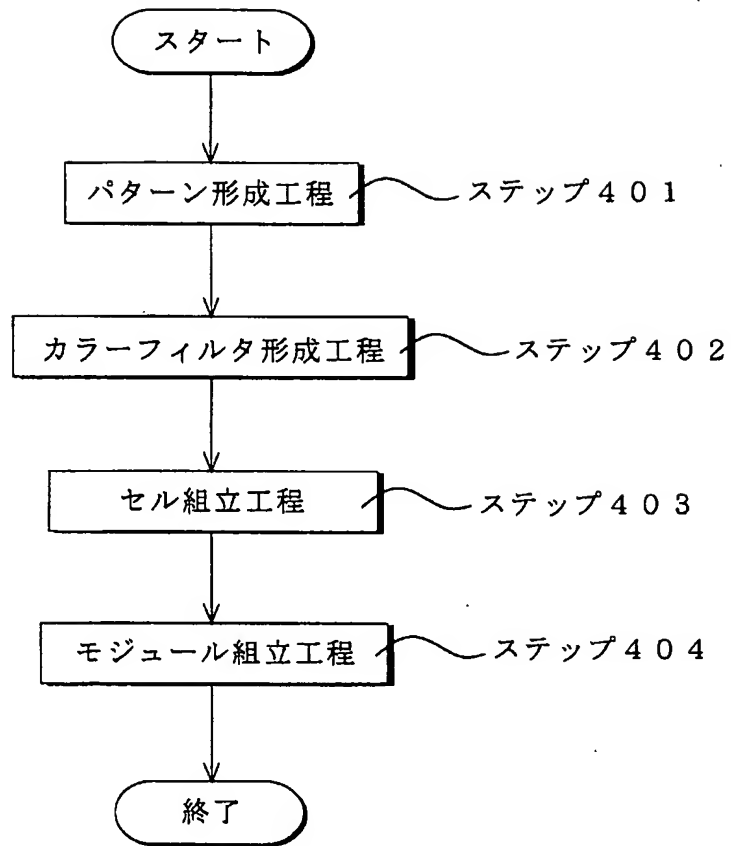
[図21]



[図22]



[図23]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2006/321607

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L21/027(2006.01)i, G02B19/00(2006.01)i, G03F7/20(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01L21/027, G02B19/00, G03F7/20

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2007
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2007	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2007

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	WO 2005/050718 A1 (Nikon Corp.), 02 June, 2005 (02.06.05), Par. Nos. [0018], [0028] to [0037], [0051] to [0058]; Fig. 1 & US 2006/0158624 A1 & EP 1693885 A1	55,56,58,59 1-31,44-54, 57
X A	WO 2004/051717 A1 (Nikon Corp.), 17 June, 2004 (17.06.04), Description; pages 42 to 46; Figs. 16 to 18 & US 2006/0055834 A1	55,56,58,59 1-31,44-54, 57
A	JP 2005-302826 A (Nikon Corp.), 27 October, 2005 (27.10.05), Par. Nos. [0031] to [0040]; Fig. 1 (Family: none)	1-31,44-59

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
24 January, 2007 (24.01.07)Date of mailing of the international search report
06 February, 2007 (06.02.07)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2006/321607

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2005-108925 A (Nikon Corp.), 21 April, 2005 (21.04.05), Par. Nos. [0037] to [0043]; Figs. 1, 4 (Family: none)	1-31, 44-59
A	JP 2005-005521 A (Nikon Corp.), 06 January, 2005 (06.01.05), Claims; Figs. 1, 2 (Family: none)	1-31, 44-59

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2006/321607

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

"The special technical feature" of the inventions in independent claims 1 and 55 relates to first and second polarization members disposed so as to be rotatable around the optical axis of a lighting optical system or an axis almost parallel to the optical axis. "The special technical feature" of the inventions in independent claims 32 and 33 relates to a phase member disposed so as to be rotatable around the optical axis of a lighting optical system or an axis almost parallel to the optical axis. "The special technical feature" of the inventions in independent claims 36 and 37 relates to an optical rotation member disposed so as to be rotatable around the optical axis of a lighting optical system or (continued to extra sheet)

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
4. ☒ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.: 1 - 31, 44 - 59

Remark on Protest
the

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, payment of a protest fee..
- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- ☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2006/321607

Continuation of Box No.III of continuation of first sheet(2)

an axis almost parallel to the optical axis.

These inventions are not considered to be so linked as to form a single general inventive concept, because there is no technical relationship among those inventions involving one or more of the same or corresponding special technical features.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H01L21/027(2006.01)i, G02B19/00(2006.01)i, G03F7/20(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H01L21/027, G02B19/00, G03F7/20

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2007年
日本国実用新案登録公報	1996-2007年
日本国登録実用新案公報	1994-2007年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X A	WO 2005/050718 A1 (株式会社ニコン) 2005.06.02 [0018], [0028]-[0037], [0051]-[0058]、図1 & US 2006/0158624 A1 & EP 1693885 A1	55, 56, 58, 59 1-31, 44-54, 57
X A	WO 2004/051717 A1 (株式会社ニコン) 2004.06.17 明細書 42-46 頁、第 16-18 図 & US 2006/0055834 A1	55, 56, 58, 59 1-31, 44-54, 57

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

24.01.2007

国際調査報告の発送日

06.02.2007

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

岩本 勉

電話番号 03-3581-1101 内線 3274

2M

9355

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 2005-302826 A (株式会社ニコン) 2005. 10. 27 [0031]-[0040]、図 1 (ファミリーなし)	1-31, 44-59
A	JP 2005-108925 A (株式会社ニコン) 2005. 04. 21 [0037]-[0043]、図 1, 4 (ファミリーなし)	1-31, 44-59
A	JP 2005-005521 A (株式会社ニコン) 2005. 01. 06 特許請求の範囲、図 1, 2 (ファミリーなし)	1-31, 44-59

第Ⅱ欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見（第1ページの2の続き）

法第8条第3項（PCT17条(2)(a)）の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求の範囲 _____ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。
つまり、
2. ☐ 請求の範囲 _____ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. ☐ 請求の範囲 _____ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第Ⅲ欄 発明の単一性が欠如しているときの意見（第1ページの3の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるところこの国際調査機関は認めた。

独立請求の範囲1及び55に係る発明の「特別な技術的特徴」は、照明光学装置の光軸または該光軸にほぼ平行な軸線を中心として回転可能に配置された第1及び第2偏光部材に関する。独立請求の範囲32及び33に係る発明の「特別な技術的特徴」は、照明光学装置の光軸または該光軸にほぼ平行な軸線を中心として回転可能に配置された位相部材に関する。独立請求の範囲36及び37に係る発明の「特別な技術的特徴」は、照明光学装置の光軸または該光軸にほぼ平行な軸線を中心として回転可能に配置された旋光部材に関するものである。

してみると、これらの発明は、一又は二以上の同一又は対応する特別な技術的特徴を含む技術的な関係にないから、単一の一般的発明概念を形成するように連関しているものとは認められない。

1. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求の範囲について作成した。
2. ☐ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求の範囲について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求の範囲のみについて作成した。
4. ☒ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求の範囲について作成した。

1-31, 44-59

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☐ 追加調査手数料及び、該当する場合には、異議申立手数料の納付と共に、出願人から異議申立てがあった。
- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあったが、異議申立手数料が納付命令書に示した期間内に支払われなかった。
- ☐ 追加調査手数料の納付を伴う異議申立てがなかった。